

## 転倒時の自律復帰を目的としたヘビ型ロボット開発

水谷, 元基 / MIZUTANI, Motoki

---

(出版者 / Publisher)

法政大学大学院理工学・工学研究科

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

法政大学大学院紀要. 理工学・工学研究科編 / 法政大学大学院紀要. 理工学・工学研究科編

(巻 / Volume)

55

(開始ページ / Start Page)

1

(終了ページ / End Page)

4

(発行年 / Year)

2014-03-24

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00010343>

# 転倒時の自律復帰を目的としたヘビ型ロボットの開発

## DEVELOPMENT OF SELF-RIGHTING SNAKE-LIKE ROBOT

水谷元基

Motoki MIZUTANI

指導教員 伊藤一之

法政大学大学院理工学研究科システム工学専攻修士課程

Recently many types of rescue robot had been developed. Some of those robots mount many sensors and mechanisms to search and rescue. But lots of sensors made operator difficult to adequately operate the robot. Our previous robots solve complex operability problem by using physical feature of the robot thus the robot has many degrees of freedom and have high mobility. Unfortunately, it is impossible for our previous robot to move when it overturned. In this paper, we develop a self-righting snake-like robot. This mechanism can work without not only any sensors but also special mechanisms. We designed body of the robot through the use of theory of tumble doll. Experiments showed that the robot can get up after overturned.

**Key Words** : Snake-like robot, passive mechanism, self-righting, rescue robot

### 1. はじめに

近年、大規模災害が多発しておりレスキューロボットの活躍に注目が集まっている[1, 2]. これらのロボットは人々に代わり倒壊する恐れのある家屋や、瓦礫などの散乱により探索困難な災害現場などに侵入し、生存者の探索や情報収集を行う事が可能である.

今日までにタンク型[3], ヘビ型[4, 5, 6], 多脚型[7]など様々なレスキューロボットの開発が行われてきており, それらの走破性や操縦性は日々進化を遂げている. 実際に東日本大震災の際に破損した原子力発電所において探索ロボットが投入され, 施設内の被害状況を調査した.

災害現場のような未知で変化を伴う環境で活動するレスキューロボットには高い走破性が要求される. そこで, 複数のセンサーを用い周囲の情報を詳細に把握し転倒を未然に防ぐシステムや, 走破困難な状況に陥った際, サブローラを用いて走破可能な状態へ復帰する仕組み[3]が開発されてきた. しかし, これら従来の手法を実装するために機構が複雑になる問題がある. この問題に加え, 複雑な機構を制御するためにはセンサーを複数個搭載する必要があり, ロボットの状態や周囲の状況など処理する情報は指数関数的に増加する. そのため災害現場などでの運用を目的としたレスキューロボットの多くは操作が煩雑となりがちであり, 適切な操縦を行うためには熟練を要する.

一方で, レスキュー隊員の数は非常に限られており災害現場においてその効果は非常に限定的となる. そこで

ボランティアの方達でも特別な訓練を必要とせず容易に操作可能な探索ロボットの開発を行うことでより効率的な生存者探索を可能とし, 限られたレスキュー隊員が救助活動に優先的に取り組む事を可能とする.

この問題に対し, 我々は従来研究において, ロボットの身体に着目し, 機構的特性を用いることで, 多自由度を有するヘビ型ロボットであるにもかかわらずラジコン操作により誰にでも直感的に操作をすることを可能とした[4]. さらに我々の研究室では転倒を未然に防ぐ機構の製作を行いその有用性を高めた. しかし, 完全に転倒した場合自律的に走行可能な状態へ復帰する事は困難であった.

そこで本件研究では, 実世界の性質である重力を利用し, 重心位置を変化させる機体の形状を製作することにより, センサーや動力を必要とする補助機構を取り付けること無く転倒状態から自律的に走行可能な状態へ復帰可能なロボットの開発を目標とする.

### 2. 起き上がり小法師

起き上がり小法師とは, ダルマなどを象った人形であり本体中心下部におもりが装着されている. 回転した際に重心の位置エネルギーの変化に伴い人形が起き上がった状態に戻る構造となっている.

物体が回転し重心の位置が変化する事に伴い重心の位置エネルギーも変化する. 物体が一回転する間の重心の位置エネルギーの増減が一度きりの場合, 物体は位置エネルギーが最小となる位置で安定する.

位置エネルギーの増減が複数回ある場合、物体は必ずしも位置エネルギーが最小となる谷の位置で安定するわけではなく、一番近い位置エネルギーの谷の位置で安定する。

従って、機体をロール角に対して0度から180度まで回転する間に位置エネルギーが単純増加する事が起き上がり小法師となる条件となる。

### 3. 提案手法

#### (1) 機体の形状

起き上がり小法師を模した図形を設計する。機体のロール角に対し0度から180度まで回転する間の重心から地面と接する点までの距離が単調増加するような形をMATLABにより作図した。

重心の位置を原点とする。機体に取り付けられたモーターと電池の位置より機体がロール方向に回転していない状態の重心から地面までの距離が10[cm]、左右5度の刻み幅で回転させ180度回転する間の垂線の長さを0.5[cm]ずつ増加させ続けた。Fig.1にMATLABで描写した図形を示す。これら数値は機体の形状より実験的に求めた。

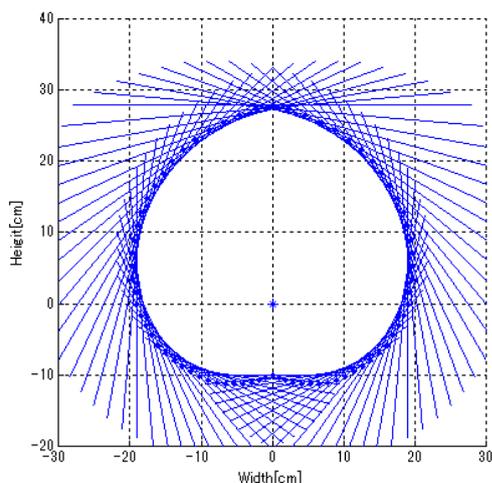


Fig.1 設計した起き上がり小法師の形状

#### (2) 機体の構造

機体の全体図をFig.2に示す。提案する機体は1対のクローラーと1個のモーターを有するリンクを5つ直列に接続する事で実現され、それぞれのリンク間はゴム製の受動機構で結合されている。また、各リンクの左右にはワイヤーが張られており、機体の後部に設置された能動プーリーを回転させることでワイヤー全長が変化し、機体を左右に湾曲させる事で進行方向の制御が可能である。

本研究のヘビ型ロボットは前項で設計した起き上がり小法師の形状を象った外枠をロボットの第2から第4リンクまでの3リンクに取り付ける。これによりFig.3に示すように機体が転倒した際に自律的に走行可能な状態に復帰する。またFig.4に示す通り、外枠は機体の高さで上下2つの部品に分かれており、上下の部品を蝶番でそれぞれ機体と固定する。外枠と本体の間に引きバネを取り付ける事で機体が障害物と接触した時や狭小空間に侵入する際は外枠が倒れることで従来と同等の走破性を確保する。

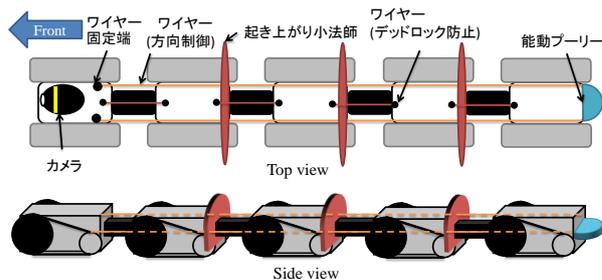


Fig.2 提案機体

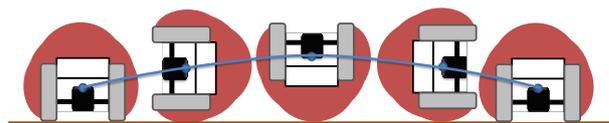


Fig3 提案機構の外枠による起き上がり

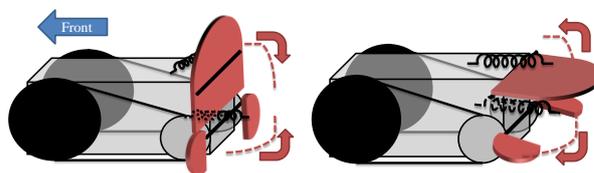


Fig.4 バネによる外枠の復元機構

#### (3) 機体の製作

実際に制作したロボットをFig.5に、仕様をTable 1に示す。

本研究で制作したロボットは第1リンクにバッテリー駆動式のカメラを搭載し(Fig.6)、第2リンクから第4リンクに提案した形状の外枠を取り付けた。また第1リンクにカメラ用のバッテリーを、第2リンクから第4リンクに1個ずつ、計4個のバッテリーを搭載している。動力源はすべて機体に内蔵されており遠隔操作可能である。



Fig.5 制作した機体

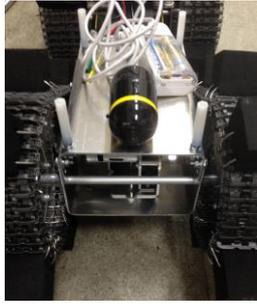


Fig.6 先頭リンクに搭載されたカメラ

Table 1 ロボットの仕様

Length [cm]	125
Width [cm]	29
Height [cm]	30
Weight [kg]	8
Powersupply for crawlers and receiving apparatus	TAMIYA Ni-cd BATTERY 7.2V-2200mAh × 3
Motor for rotating active pulley	KONDO KRS 4035 HV

#### 4. 予備実験

##### (1) 外枠の復元実験

本研究で設計した起き上がり小法師を象った外枠が障害物等に当たり倒れた際に元の外枠の形に戻るか実験を行った。以下の Fig. 7 左側に外枠の下部の実験結果、右側に上部の実験結果を示す。

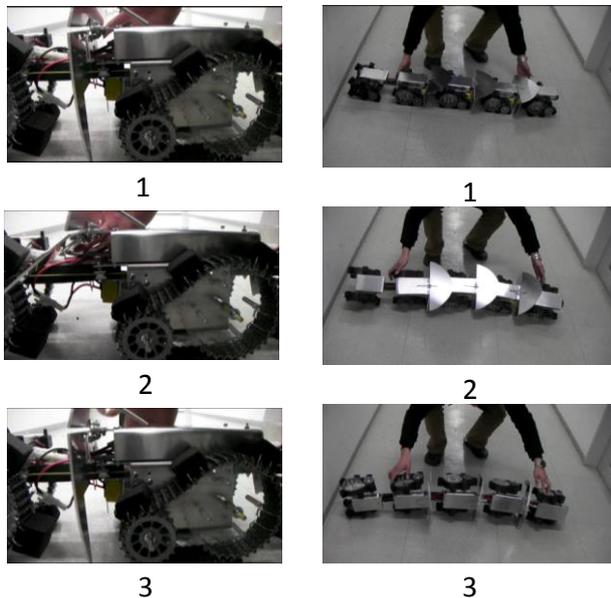


Fig.7 外枠の復元実験(左図:外枠下部 右図:外枠上部)

実験結果より、上下ともに外枠は倒した状態から復元した。

ただし、外枠上部に関しては倒した状態から自然に復帰しないが、ロボットの走行による振動や、機体の傾きによるバネの張力と重力の釣り合いの変化で復元することが確認できた。

##### (2) 基本走破性能

次に提案したロボットの走行性能を実験により確認する為に従来研究で走破した高さ 15 [cm], ステップ幅 30 [cm]程度の一般的な階段の昇降実験を行った。その際の様子を Fig. 8 に示す。

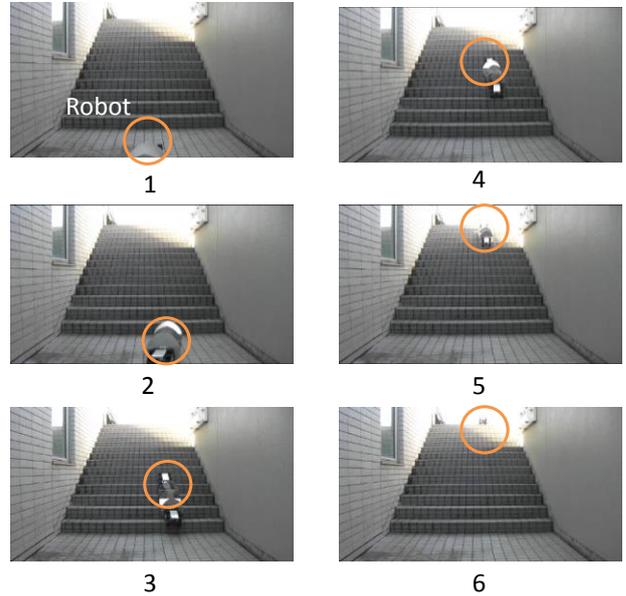


Fig. 8 基本走破性能

#### 5. 実験

##### (1) 平地における起き上がりの実験

提案手法を用いて作成した外枠を、ロボットに搭載し機体が平地環境で転倒し走行困難な状態から走行可能な状態へ復帰可能か検証を行った。結果の一例を以下の Fig. 9 に示す。

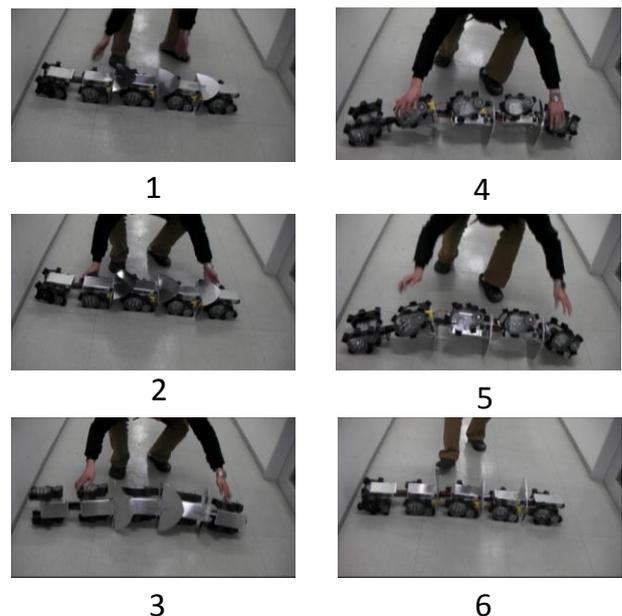


Fig.9 平地における起き上がり実験

## (2) 斜面における起き上がりの検証

次に傾斜のある環境において転倒状態から走行可能な状態への復帰が可能か検証を行った。結果の一例を以下の Fig.10, 11 に示す。

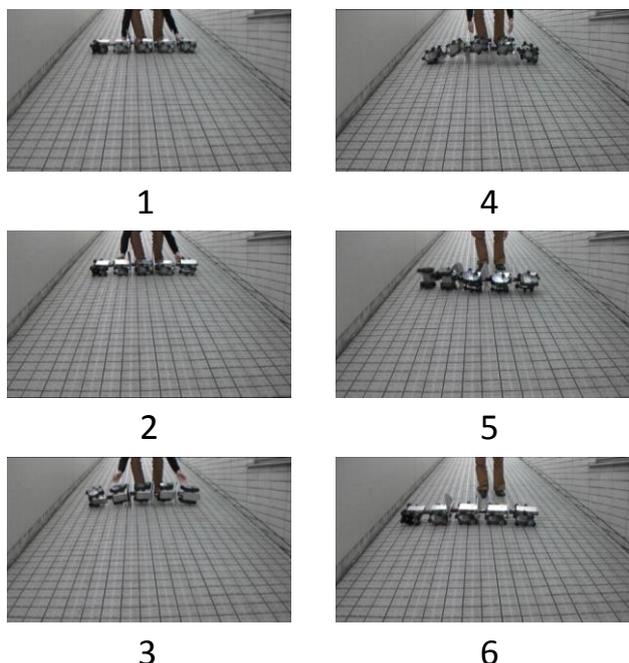


Fig.10 斜面における起き上がり実験(成功)



Fig.11 斜面における起き上がり実験(失敗)

## 6. 考察

予備実験の基本走破性能の結果より、本研究において開発したヘビ型ロボットも従来研究において開発されたロボットと同等の走破能力を有することが確認できる。

次に、平地における起き上がりの実験より平地におい

て転倒状態から走行可能な状態への復帰を確認した。また、クローラーの高さである 17 [cm] 以上の隙間であれば外枠の上部が倒れる事で狭小空間に侵入可能であり、その際に倒れた外枠はバネの復元力と振動や機体の傾きによって自律的に元の状態に戻る。またロボットがロールした際は起き上がりこぼしとして動作し自律的に走行可能状態に復帰可能であることを確認した。

Fig.11 にある傾斜のある環境かつ下り勾配に機首が向いている環境で機体が転倒した場合、外枠が倒れてしまい起き上がりこぼしの形状とならず復帰不可な場合も見受けられた。この点に関して外枠の上部を固定する事で解決可能であるが、その場合全高が高くなってしまう。そこで今回は狭小空間に侵入可能なロボットを想定し外枠は可倒式とした。

## 7. おわりに

本研究では、実世界の性質を用いて転倒した際に自律的に走行可能な状態へ復帰可能なロボットの実現を目標とした。

ロボットの形状を起き上がり小法師の性質を有する構造とすることにより、センサー等を用いることなく、自律的に走行可能な状態へ復帰可能なロボットの製作を行った。

今後の課題として本機のモデル化、機構の見直しによるより多くの環境において起き上がり可能な形状の製作が挙げられる。

## 参考文献

- 1) S. Tadokoro, "Mission and Overview of DDT Project," *Journal of Robotics Society of Japan*, vol. 22(5), pp. 544-545, 2004.
- 2) R. Murphy, "Marsupial and shape-shifting robots for urban search and rescue," *Intelligent Systems and Their Applications*, IEEE, Intelligent Systems, pp. 14-19, 2000.
- 3) E. Rohmer, K. Ohno, T. Yoshida, K. Nagatani, E. Konayagi and S. Tadokoro, "Integration of a Sub-Crawlers' Autonomous Control in Quince Highly Mobile Rescue Robot," *Proceedings of IEEE/SICE International Symposium on System Integration*, pp. 78-83, 2010.
- 4) H. Maruyama, K. Ito: "Semi-autonomous snake-like robot for search and rescue", *Proc. of 8th IEEE Int. Conf. on Safety, Security, and Rescue Robotics*, pp. 1-6, 2010
- 5) R. Haraguchi, K. Osuka, S. Makita and S. Tadokoro, "The Development of the Mobile Inspection Robot for Rescue Activity, MOIRA2," *Proceedings of 12th International Conference on Advanced Robotics*, pp. 498-505, 2005.
- 6) H. Miyanaka, N. Wada, T. Kamegawa, N. Sato, S. Tsukui, H. Igara "KOHGA2" with stuck avoidance ability," *Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pp. 3877-3882, 2007.
- 7) K. Kamikawa, T. Arai, K. Inoue, and Y. Mae, "Omni-directional gait of multi-legged rescue robot", *Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pp. 2171-2176, vol. 3, 2004