

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

論題(和文)	弾性能動体幹を有する多輪ヘビ型ロボット蒼龍8号機の開発
Title	
著者(和文)	鈴木康介, 広瀬茂男
Authors	Kousuke Suzuki, SHIGEO HIROSE
出典 / Citation	第29回日本ロボット学会学術講演会講演概要集, , , page 141
Citation(English)	, , , page 141
発行日 / Pub. date	2011, 9
権利情報 / Copyright	本著作物の著作権は日本ロボット学会に帰属します。 Copyright (c) 2011 The Robotics Society of Japan.

# 弾性能動体幹を有する多輪ヘビ型ロボット蒼龍 8 号機の開発

○鈴木康介（東工大） 広瀬茂男（東工大）

## 1. 序論

地震やテロといった災害時における倒壊建物や瓦礫内においては、レスキュー隊員による要救助者の探査や救助が必要になるが、建物や瓦礫が不安定であり、2次崩壊の可能性もあるため救助活動は非常に危険である。一方、住宅を長期に渡り維持するには定期的な点検作業が必要であるが、住宅の床下や天井裏は非常に狭く作業者の負担が大きい。このような背景から災害時の探査・救助および住宅の床下・天井裏点検においては探査ロボットの利用が期待されている。

本研究室では探査ロボットの外觀形状としてヘビ型形状を提案し、多くのヘビ型ロボット[1]~[6]を開発してきた。今回、筆者らはヘビ型ロボットのさらなる実用化の検討を行うため図 1 に示す蒼龍 8 号機を開発した。蒼龍 8 号機はヘビ型ロボットの移動機構の分類[7]に当てはめると、能動推進機構として車輪駆動を採用し、能動関節機構として屈曲のみ可能なヘビ型ロボットに分類される。多くのヘビ型ロボットの中で蒼龍 8 号機においては新しい構成の能動関節機構「弾性能動体幹」を適用し小型かつ計量化に成功した。よって、本論文では弾性能動体幹の提案を行うと共に、蒼龍 8 号機の開発について述べ、有効性を検討する。



図 1 蒼龍 8 号機

## 2. 蒼龍 8 号機の開発

### 2.1. 蒼龍 8 号機の開発コンセプト

災害時における瓦礫内や住宅の点検における床下・天井裏などの狭隘地を探査するために筆者らは次の 7 つのコンセプトを考えている。

- ・ロボットの外形としてヘビ型形状
- ・コンプライアンスを有する体幹
- ・ワイヤを用いた体幹の姿勢制御

- ・高い推進力を生成する多車輪
- ・体幹屈曲可動範囲を広げる片側車輪
- ・上下対称形の設計
- ・有線による遠隔操作の適用

狭い瓦礫内や床下・天井裏などにおいては、ロボット外形の断面積が小さい方が進入可能箇所の増加により望ましいが、高い推進力を保持するためには推進器の設置が不可欠でありロボット全体を小型にすることは難しい。そこで、ロボットの外觀を細長いヘビ型形状にすることで断面積を小さく、また推進器の設置箇所を出来るだけ多く確保することとした。また、ヘビ型形状という特殊な形状から瓦礫内などにおいてはロボット自体が支える問題があるため、体幹にコンプライアンスを持たせ操縦者が意図しなくても自然にロボットがある程度地形に合わせて形を変えることによりスムーズな探査を行う。さらに、ワイヤを用いた体幹の姿勢制御により、操縦者の意図に合わせて進行方向の変更や段差の乗り越えを行う。

ロボットの体幹がコンプライアンスを有していることから、推進器には分散して配置可能な車輪を用いることとし、体幹屈曲可動範囲を狭めないように片側ずつ左右交互に多くの車輪を設置した。また、ヘビ型という特殊な形状からロボットが瓦礫の山などから、進行方向に対して横方向に転がり落ちることが想定されるため、ロボット全体を上下対称形の設計とすることで転倒復帰能力を高める。

通信方法としては引張りに対して強いケーブルを用いることで穴からの懸下などにも対応すると共に、鉄骨などが散在し電波障害などが起きやすい環境下においても確実な通信を行う。

### 2.2. 蒼龍 8 号機全体の構成

図 2 に蒼龍 8 号機の全体構成を示す。蒼龍 8 号機は、ワイヤ固定部、体幹部、姿勢制御部、車輪部に分かれている。ワイヤ固定部は姿勢制御用ワイヤを固定すると共に、ワイヤのたわみを取るテンショナー機構が搭載され、姿勢制御部にはワイヤを駆動するモータやプーリ、モータドライバー、SH2 マイコンなどが搭載されている。体幹部は車輪を搭載する固めのスポンジで構成される胴体ユニットと柔軟性があるスポンジの関節ユニットが積層された構成になっており、これらはワイヤを通す貫通穴や配線を通す穴などが空いている。車輪部は小型ギヤードモータと車輪で構成され、胴体ユニットに装着されている。

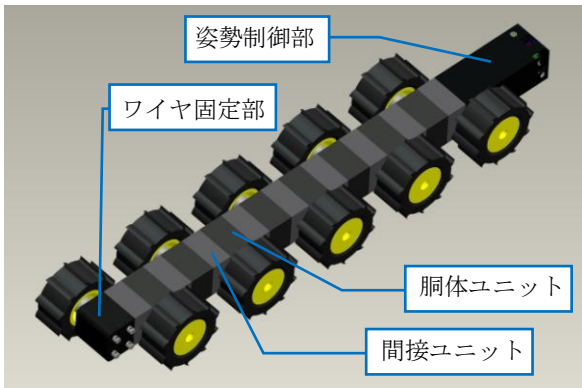


図 2 蒼龍 8 号機の全体構成

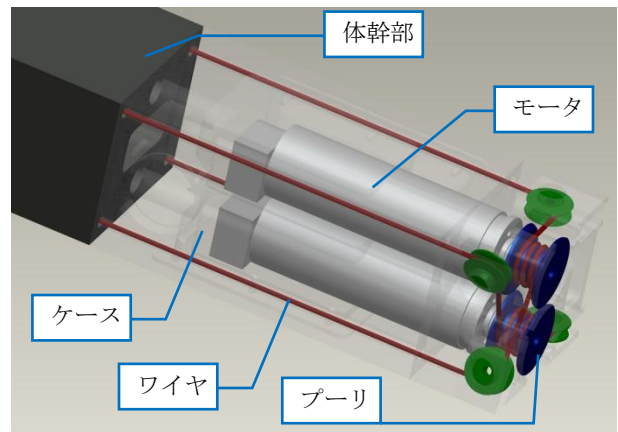


図 4 蒼龍 8 号機の姿勢制御部詳細

### 3. 弾性能動体幹の提案

蒼龍 8 号機においては体幹をスポンジのみで構成し、新たな姿勢制御機構を採用した。そこで、今回開発した能動体幹を「弾性能動体幹」として新たに提案する。弾性能動体幹は、スポンジのみで構成される体幹の全方向屈曲を最少のモータ 2 個とワイヤを用いて実現し、小型化および軽量化を図れる点において優位性がある。

#### 3.1.弾性能動体幹の構成

図 3 に蒼龍 8 号機の弾性能動体幹の全体図を示す。胴体ユニットと関節ユニットから成る体幹部をワイヤ固定部と姿勢制御部で挟んだ構造になっている。姿勢制御部に搭載されたモータによってワイヤが引き込まれ、ワイヤ固定部と姿勢制御部の距離が変化することにより、体幹部を圧縮し姿勢を変化させる。

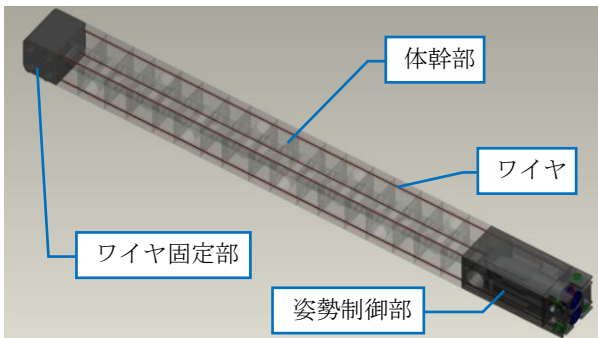


図 3 蒼龍 8 号機の姿勢制御機構

#### 3.2.弾性能動体幹の仕組み

図 4 に姿勢制御部の詳細を示す。ワイヤ固定部に固定された 4 本のワイヤが体幹部を貫通しているが、ロボット後部から見て右上と左下、左上と右下の 2 組のワイヤは繋がっている 1 本のワイヤであり、それぞれ姿勢制御用モータのプーリに巻き付けてある。2 本のワイヤの midpoint 付近はモータのプーリの溝に固定してあり、モータが回転すると対角の位置にあるワイヤの一方が巻き取られ、もう一方が開放される。

体幹を上昇させる時の蒼龍 8 号機の外観と姿勢制御部の各部の動きを図 5 に示す。2 つのモータが図に示すように同じ方向に回転すると、上側の 2 本のワイヤが巻き取られると同時に下側 2 本のワイヤが開放される。これにより、体幹のスポンジの上側が圧縮、下側が開放され、体幹全体としては上方向に反る。また、2 つのモータが図 5 に示した回転方向と逆向きに回転した場合、各部はすべて逆向きに動作し、体幹は下方向に反る。つまり、これは体幹を Pitch 軸周りに制御出来ることを示す。

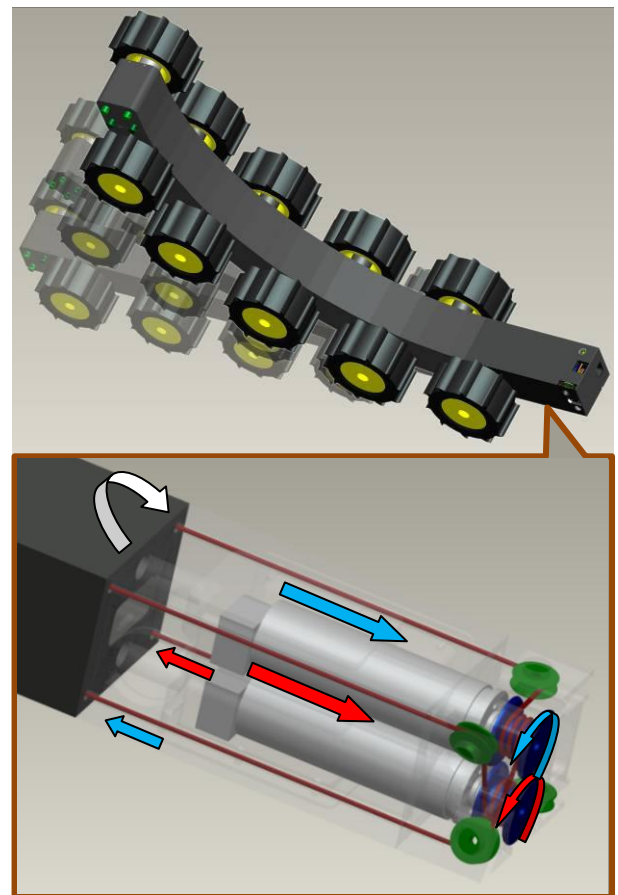


図 5 体幹上昇時の外観および各部動作

体幹をロボット後方から見て左方向に曲げる時の蒼龍8号機の外観と姿勢制御部の各部の動きを図6に示す。2つのモータが図に示すように反対方向に回転すると、左側の2本のワイヤが巻き取られると同時に右側2本のワイヤが開放される。それにより、体幹のスポンジの左側が圧縮、右側が開放され、体幹全体としては左方向に反る。また、2つのモータが図6に示した回転方向と逆向きに回転した場合、各部はすべて逆向きに動作し、体幹は右方向に反る。つまり、これは体幹をYaw軸周りに制御出来ることを示しており、一般的な車両で言えばステアリング機能を果たす。

図7に体幹をロボット後部から見て左上方向に曲げる動作時の各部の動きを示す。図のように1つのモータが単独で回転すると、左上のワイヤが巻き取られると同時に右下のワイヤが開放される。それにより、体幹全体としては左上方向に反る。また、モータが図7に示した回転方向と逆向きに回転した場合、各部はすべて逆向きに動作し、体幹は右下方向に反る。さらに、もう一方のモータを回転させれば右上方向および左下方向にも体幹を制御できる。これらをまとめると、上述の動作を組み合わせれば、体幹をロボット後部から見て360°任意の方向に反らせることが可能であり、方向転換や段差の走破のほか、ロボットの進行方向に対して横方向に転がる捻転動作など様々な運動が可能である。

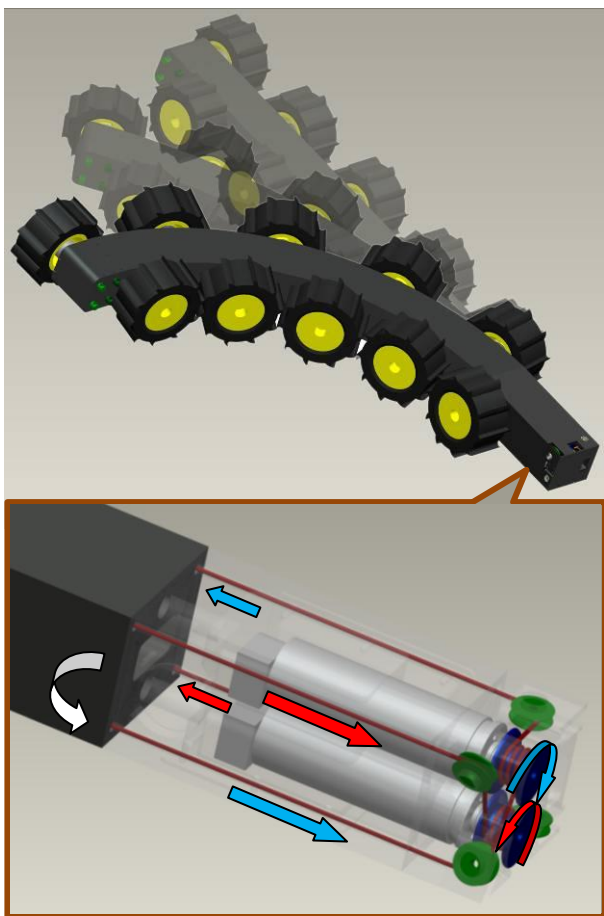


図6 体幹左方向屈曲時の外観および各部動作

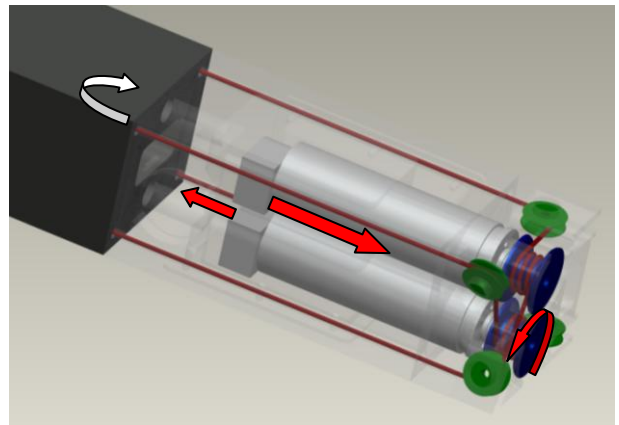


図7 体幹左上方向屈曲時の各部動作

## 4. 蒼龍8号機による実験

### 4.1. 基本運動性能評価実験

実験の結果、蒼龍8号機の最大速度は312.5mm/s、体幹をyaw軸回りに最大限曲げて走行した場合の最小回旋半径は275mmであり、35°の勾配まで登坂可能であった。また、蒼龍8号機を板の中央に傾斜に対して垂直になるように置き、徐々に勾配を増していく実験を行うと勾配が31°のとき蒼龍8号機の後部が斜面の下側に滑り落ちていった。これは、蒼龍8号機の後部に搭載された姿勢制御部が非常に重たいためである。次に、蒼龍8号機を板の端に傾斜に対して垂直になるように置き、徐々に勾配を増していくと、勾配が63°のとき蒼龍8号機が全体的に横向きに転倒した。さらに、図8に示すようにロボットの進行方向に対して横方向に転がる捻転動作が可能であることを確認した。本研究室におけるヘビ型ロボットの移動機構の分類[7]の内、能動推進機構として車輪駆動を採用し、能動関節機構として屈曲のみ可能なヘビ型ロボットとしての捻転動作の実現は初めてである。



図8 蒼龍8号機の捻転動作

### 4.2. 基本走破性能評価試験

段差の高さを徐々に上げつつ実験を行った結果、図9および図10に示すように蒼龍8号機は体幹屈曲動作無しで90mm、体幹屈曲を用いて180mmの垂直段差を走破することに成功した。蒼龍8号機の手

輪径(全高)は68mmであるが、車輪径に対して2.65倍の段差を走破可能であることが示された。

また、図11および図12に示すように溝の幅を徐々に大きくして実験を行った結果、蒼龍8号機は体幹屈曲動作無しで110mm、体幹屈曲を用いて250mmの溝を走破することに成功した。なお、本実験で用いた板と蒼龍8号機の静摩擦係数は0.91であり、動摩擦係数は0.79であった。

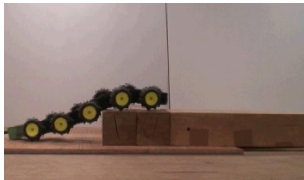


図9 90mm 垂直段差  
走破実験(体幹屈曲無し)



図10 180mm 垂直段差  
走破実験

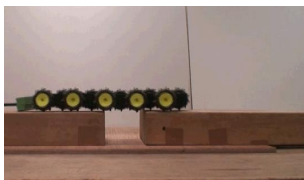


図11 110mm 並行溝  
走破実験(体幹屈曲無し)

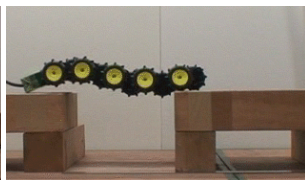


図12 250mm 並行溝  
走破実験

#### 4.3.走破性能評価実験

図13および図14に示すように大きめの岩場上の走行や狭い穴への進入、曲がった経路の走破実験など体幹屈曲動作を用いずに行った。無作為な瓦礫であっても、段差などが大きすぎない限り非常に簡単に瓦礫を乗り越えることができた。体幹が柔軟なため小さな瓦礫であれば、操縦者が地形を確認しなくとも、前進の指令だけで走破可能である。小さな穴については、先頭部の進入に成功すれば後続部は先頭部に追従して簡単に穴を抜けることができた。

また、図15および図16に示すように体幹屈曲を用いた瓦礫上走破実験も行った。体幹をyaw軸回りに曲げての進行方向の変更や、pitch軸回りに反らせて瓦礫を上るなど非常に多様な動作が可能であり、大きめの瓦礫内でもスムーズに走破が可能である。瓦礫から滑り落ちて横向きに倒れた状態になってしまっても捻転動作で復帰可能であるほか、転がって機体が反転してしまっても上下対称形であるためそのまま走行が可能である。



図13 岩場の上走破実験 図14 屈曲経路走破実験



図15 体幹屈曲を用いた  
旋回動作



図16 体幹屈曲を用いた  
瓦礫走破

## 5. 結論

本論文では新しく開発した蒼龍8号機について述べると共に、小型かつ軽量で全方向体幹屈曲を実現する弾性能動体幹を提案した。また、蒼龍8号機を用いて様々な実験を行い、弾性能動体幹の効果と蒼龍8号機の有効性を確認した。今後は蒼龍8号機のさらなる運動性能、走破性能の向上を図ると共に、防塵・防水機能の搭載を行う。また、実際の探査に向けては蒼龍8号機本体にカメラやサーモグラフィ、マイクなどの装置を搭載する必要があるほか、操縦者用のディスプレイも必要である。将来的には、姿勢センサなどの導入により操縦者を補助するシステムを構築することも重要であると筆者は考えている。

## 参考文献

- [1] T. Takayama and S. Hirose : "Development of souryu-i connected crawler vehicle for inspection of narrow and winding space" in Industrial Electronics Society, 2000. IECON 2000. 26th Annual Conference of the IEEE, vol. 1, pp. 143-148, 2000.
- [2] T. Takayama and S. Hirose: "Development of "Souryu I & II" -Connected Crawler Vehicle for Inspection of Narrow and Winding Space-," Journal of Robotics and Mechatronics, Vol. 15 No. 1, pp. 61-69, 2003.
- [3] A. Masayuki, T. Takayama and S. Hirose : "Development of "Souryu-III": connected crawler vehicle for inspection inside narrow and winding spaces", Intelligent Robots and Systems, 2004. (IROS 2004). Proceedings. 2004 IEEE/RSJ International Conference on, vol. 1, pp. 52-57, 2004.
- [4] 新井, 津久井, 桑原, 田中, 廣瀬 : "レスキュー用連結クローラ走行車「蒼龍IV号機」の開発", 第23回日本ロボット学会 学術講演会, 3I12, 2005.
- [5] Y. Tanaka, M. ARAI, S. Hirose, S. Tsukui : "Development of "Souryu-V" with Mono-Tread-Crawlers and Elastic-Rods Joint", Proc. IEEE International Workshop on Safety, Security and Rescue Robotics 2006 (SSRR '06), TUE-AM1, 2006.
- [6] 中野淳志, 広瀬茂男 : "能動柔軟体幹を有する多輪へび型ロボット蒼龍7号機の開発", 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2009 講演論文集, 2P1-E19, 2009.
- [7] 広瀬茂男 : "へび型ロボットの移動機構", ロボット学会誌, vol.28, no.2, pp.151~155, 2010.