

柔軟空気圧シリンダを用いた探索型レスキューロボットの改良

川崎 貴博・赤木 徹也*・堂田 周治郎*・王 琳

岡山理科大学大学院工学研究科知能機械工学専攻

* 岡山理科大学工学部知能機械工学科

(2012年10月1日受付、2012年11月1日受理)

1. 諸言

近年、日本において地震や地球温暖化に伴う異常気象により水害を伴う自然災害が多発している。最近では、2008年の岩手・宮城内陸地震での土石流や2009年の中国・九州北部豪雨災害、2011年の東日本大震災での津波などがある。これらの災害では、大規模な崩落や土砂崩れ、土石流、津波、また大雨による都市型水害などが報告されている。特に、土石流などでは民家に大量の土砂が侵入し、生き埋めになるといったケースも珍しくない^{1),2)}。こういった水分を含む環境下での要救助者や遺体の探索では、感電による2次災害の危険から電気モータを用いたロボットではなく、空気圧アクチュエータを用いたロボットを使用するのも有効な手段である。また、複雑な狭隘空間内では、ロボットの形状を変形させるのに多くの時間やエネルギーを消費する。さらに変形のための複雑な形状により重量が重くなるとともに、移動に必要なエネルギーが多くなる。そのため、軽量で、空間に合わせて自由に変形できる柔軟な構造を有するロボットを開発することは、有効な解決法の一つと考えられる。そこで本研究では、空間に合わせて自由に変形でき、さらに水分や土砂を含む環境下で安全に使用できる探索型レスキューロボット^{3),4)}の開発を目指す。すなわち、本研究では柔軟な空気圧シリンダを用いた探索型レスキューロボットの開発を目的とする。本論文では以前開発した柔軟空気圧シリンダを用いたスライド推進式の探索型レスキューロボット⁵⁾に改良を加え、より狭隘空間で移動を可能にすることについて述べる。

2. ロッドレス型柔軟空気圧シリンダ

2-1 柔軟空気圧シリンダの構造

柔軟な空気圧アクチュエータとして、図1に以前開発したロッドレス型柔軟空気圧シリンダ⁶⁾の構造を示す。シリンダは、柔軟チューブ(株式会社SMC TUS1208)と、直径9mmの2個の鋼球、鋼球の間のチューブを外側より直径4mmの真鍮製ローラにより締付けを行ったスライドステージから構成される。チューブと鋼球の間には、潤滑のためシリコーングリスを塗布している。

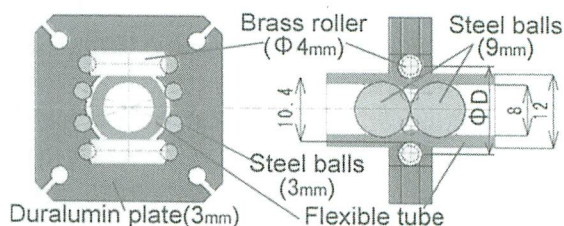
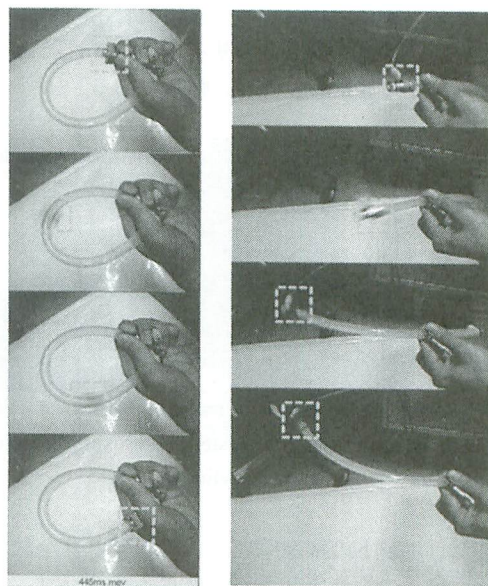


Fig.1 Rodless type flexible pneumatic cylinder



(a) Sliding on curved tube (b) Pushing motion

Fig.2 Movement of rodless type flexible pneumatic cylinder

2-2 柔軟空気圧シリンダの動作原理

柔軟空気圧シリンダの動作原理は以下の通りである。まず、図1の片側の圧力室を加圧すると、真鍮製ローラに力が伝わり、ステージが動く。ここで、シリンダ内のシールは、チューブ自身がパッキンの役割を果たすことで行う。また、内部の鋼球は、シリンダチューブが湾曲しても直線動作と同様にステージに動力を伝えることができる。また、シリンダの動作として図2(a)に湾曲したチューブ上でのスライドステージの動作と、図2(b)にスライドステージを保持した状態での動作の様子を示す。図2(a)に示すように、曲がったシリンダ

上でもスライドステージはスムーズに移動できていることが分かる。また、ステージを固定することで、押し出し動作も可能である。このシリンダの最低駆動圧力は130kPaである⁶⁾。

3. 柔軟空気圧シリンダを用いたレスキューロボット

3-1 ロボットの構造と動作原理

図3に以前の研究⁵⁾で開発した柔軟空気圧シリンダを用いたスライド型推進機構を有するレスキューロボットを示す。ロボットはストローク550mmの3本のロッドレス型柔軟空気圧シリンダ、配管用の1本の柔軟チューブ(株式会社SMC TUS1208)、推進を行うための開閉爪付スライドステージ、湾曲時のずれを防ぐためのアクリル製ガイド、空気圧シリンダを駆動するための8つのON/OFF弁とコントローラであるマイクロコンピュータ(株式会社ネサステクノロジ H8/3664)から構成される。柔軟空気圧シリンダは、図3の左上に示すように、ステージの中心から半径12mmで中心軸から90deg.の位置に並列に3本配置し、同じく90deg.の位置に配管用のチューブを配置している。ロボットのサイズは長さ1120mm、直径70mmであり、質量は1.08kgと軽量である。

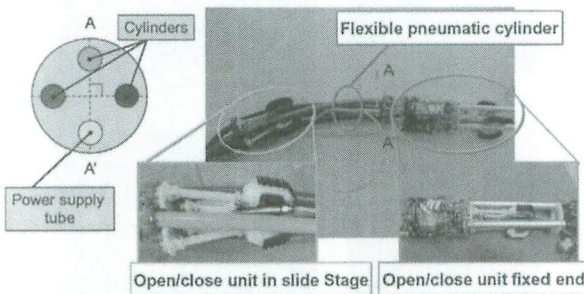


Fig.3 Construction of the tested robot using flexible pneumatic cylinder

3-2 ロボットの推進原理

ロボットの推進原理を、図4の①～⑥に示す。このロボットは狭隘な空間内および土砂上での移動を考えたものである。図4②に示すように、固定端側つまり、図4の右側の開閉爪を開き、土砂もしくは壁に対して引っかかりをつけた状態で、柔軟空気圧シリンダの右側の圧力室を加圧し、スライドステージについた開閉爪をシリンダ端部まで押し出す(図4③参照)。次に図4④に示すように押し出したスライド側の開閉爪を開き、引っかかりをつくり、固定端側の開閉爪を閉じる(図4⑤参照)。その後柔軟空気圧シリンダ左側の圧力室を加圧し、空気圧シリンダのチューブ端を図2の押し出し動作のように伸ばすことで、固定端側を左方向に引き寄せ、推進するというものである。この推進方法では3本のシリンダの圧力室に同時に加圧している。

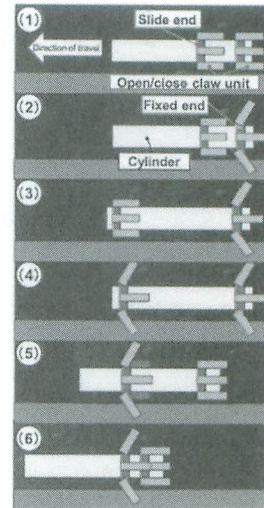


Fig.4 Operating principle of the tested robot

3-3 ロボットの動作実験

ロボットの動作実験として、図5(a)に湾曲動作(図5①～③参照)、図5(b)に上方推進動作(図5④～⑥参照)の様子を示す。図5(a)①～③に示す実験では、前述の推進動作の場合と違い、3本のシリンダ圧力室を同時に加圧するのではなく、1本のシリンダの圧力室を加圧した状態で、その他2本のシリンダの逆側の圧力室を加圧する。これにより、スライドステージを挟んで、それぞれ反対方向に力が加わり、湾曲角90度以上の滑らかな湾曲が実現できる。また、図5(b)に示すように、スライドステージを手で保持して3本のシリンダの片側のみ加圧(350～400kPa)した上昇実験では約220mm/sの速度でチューブが上昇することを確認した。



(a) Bending motion



(b) Lifting motion

Fig.5 Motion of the tested robot

また、ロボットは柔軟な空気圧シリンダできており、さらに、曲がってもスライド動作や押し出し、引込み動作が可能であるため、ロボットに衝撃が加わってもロボット自身が変形して、力を逃がすことができる。つまり、狭隘な空間に合わせて、ロボット自身が変形することが可能である。

4. 操作制御システム

4-1 操作制御システムの構成

図6に有線によるロボットの操作制御システムの構成を示す。システムは3本の柔軟空気圧シリンダ、8個のON/OFF弁(機KOGANEI G010HE-1)とマイクロコンピュータ(H8/3664)、トランジスタを用いた制御回路から構成される。これらの装置は防水のできる弁コントロールユニット内に内封されている。制御の流れは以下の通りである。まずパソコンより入力される文字コードがシリアルケーブル(RS-232C)を通じてマイコンへ送信される。マイコン内ではその文字コードを内部のシリアル通信ポートを介して受信し、受信コードに対応するプログラムを実行し、I/Oポートを介してON/OFF弁の操作をする。また実験では文字コードの受信確認のために、マイコンから文字コードに対応した動作メッセージをパソコン側へ送信している。

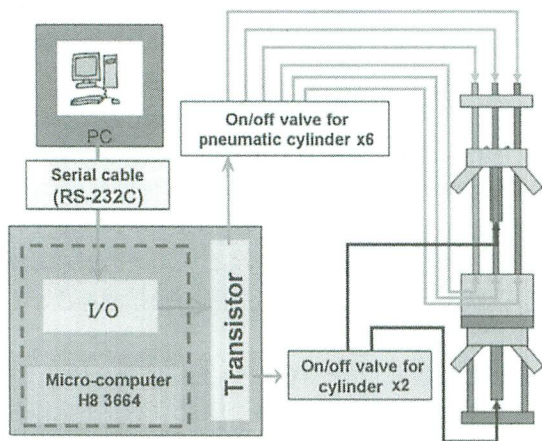


Fig.6 Control system of the tested robot

5. ロボットのスリム化

前述のロボットは直径80mmまでの空間内の移動はできるものの、それより狭い空間では移動することが出来ない。そこでより狭い空間内での移動を想定して、ロボットのスリム化を図る。改良したロボットの外観や構造を図7に示す。ロボットはストローク460mmの1本のロッドレス型柔軟空気圧シリンダ、推進を行うための開閉爪付スライドステージ、空気圧シリンダを駆動するための4つのON/OFF弁とマイクロコンピュータから構成される。前述のロボットとの大きな違いは、3本使用していた柔軟空気圧シリンダを1本に減らし、スリム化したことである。改良したロボットでは、柔軟空気圧シリンダをステージの中心に配置している。ロボットのサイズは長さ935mm、外径48mm、質量は0.56kg(本体のみでは0.31kg)と前述のロボットに比べて外径で約2/3にスリム化している。また、柔軟空気圧シ

リンダを1本にするるとともに、コイル状の空気供給管を用いることで駆動のための両側からの圧力印加が必要な柔軟空気圧シリンダや開閉爪用の空気圧シリンダへの供給用配管をロボット後部にまとめることができ、ひっきりなりの少ない形状に改善できた。なお、推進の動作原理は前述のもの(図3参照)と同じである。改良したロボットの動作風景を図8(a), (b)に示す。図8(a)は不規則な凹凸のある場所(表面に毛布をかけて擬似的に作った不規則な面上)での推進動作(①~③参照)の様子を示す。図8(b)は内径50.6mmのパイプ内を上昇している(④~⑥参照)様子である。図8(a)を見てわか

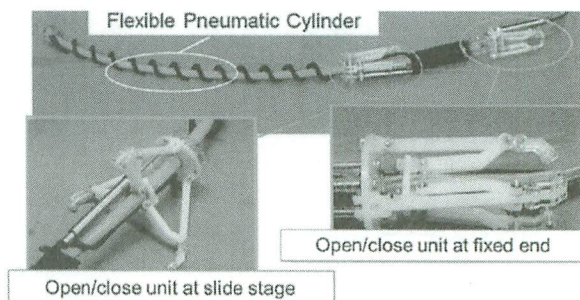
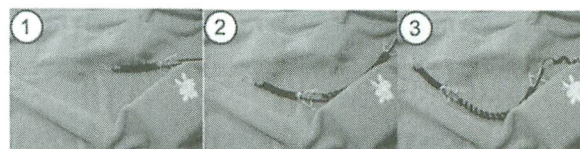
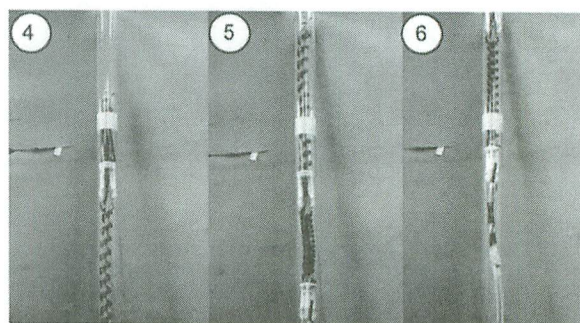


Fig.7 Construction of improved robot



(a) View of motion on the ground



(b) View of the lifting up operation

Fig.8 Motion of the tested robot

るように、改良したロボットは凹凸がある面上でも動くことができ、さらに図8(b)に示すように、垂直に立てられた狭いパイプ内でも上昇することができる。この時の上昇速度は144mm/sであり、空気圧シリンダの切換えのタイミングを変えることで移動速度を変えることができる。

耐水性の評価のため、実施した耐水実験の様子を図9

に示す。図9の①～③に示すように、水中でもスライドステージがスムーズに動くことができ、さらに動力源である空気の漏れもなく、水中でも正常に動作できることを確認した。

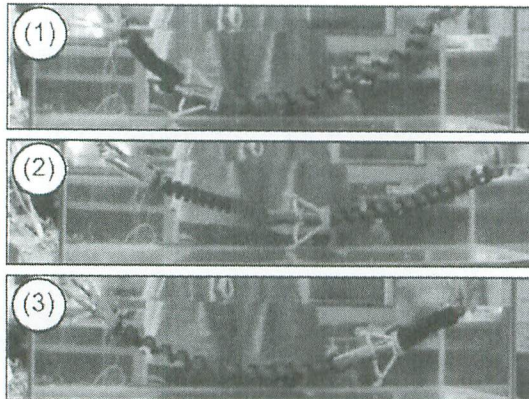


Fig. 9 View of the water-proof test

6. 試作レスキューロボット

以上、ロボットの推進のためのスライド推進の機構について述べたが、実際にロボットを構成する場合、その先端部に要救助者等を確認するためのカメラが必要となる。そこで試作したカメラを図10に示す。カメラはVゲージ用の小型CCDカメラ(㈱アールエフ TC-9)を用い、市販の単三乾電池3本を収納できる電池ボックス

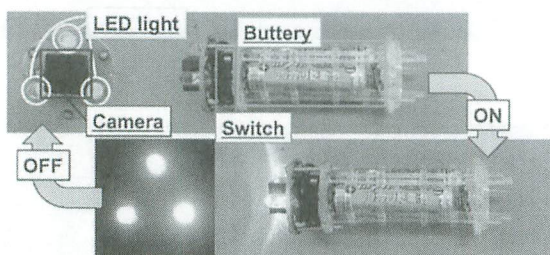


Fig. 10 Construction of camera unit

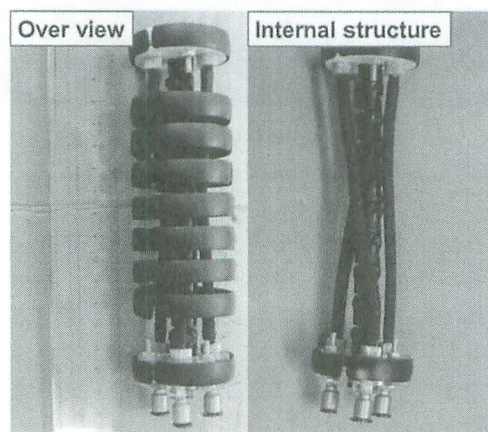


Fig. 11 Construction of bending unit

と一体化した構成となっている。またカメラの周りには3個の高輝度LEDを配置している。またカメラは1.2GHz帯の送信機を内蔵しており、ビデオ送信が可能である。従来のロボットに比べ、改良したロボットは自身の形状を能動的に曲げることはできない。そのため移動の方向を変えるための装置が必要である。そこで図11にロボットの方向を変えるために試作した方向転換ユニットを示す。ユニットは、自在に湾曲できるプラスチック型の配線被覆チューブ内に3本のゴム人工筋(外径6mm)を3本、中心から120°間隔で配置したものである。動作原理は人工筋に圧力を印加することで収縮が生じ湾曲するというものである。試作したユニットは、放射状に最大60deg.の湾曲動作が可能である。これらの要素を組み合わせたロボット全体の製作および動作実験は今後の課題である。

7. 結言

本研究では、柔軟性を有し、さらに水分を含む環境下でも使用できるレスキューロボットとして柔軟空気圧シリンダ3本を用いたロボットの改良を目的として、ロボットのスリム化と空気配管の一元化を行った。また、それらの動作確認実験を行った。その結果、ロボットは従来の外径に比べ約2/3に小型化でき、さらに凹凸のある面上や狭いパイプ内でのスムーズな推進も可能であることを確認した。さらに水中での耐久実験を行い、試作ロボットは水中でも十分動作できることを確認した。

今後の課題として、ロボット先端に取り付けるCCDカメラや方向転換ユニットを加えたロボット全体を構成し、性能評価実験を行うことが挙げられる。

参考文献

- 1) 山口県ホームページ, 防災危機管理課, 災害記録～平成21年7月21日豪雨災害～
<http://www.pref.yamaguchi.lg.jp/cms/a10900/bousai/20090721saigai.html>
- 2) 岩手・宮城内陸地震-社団法人共同通信者ニュース特集-, 不明者捜索難航、長期化も 作業を阻む大量の土砂
http://www.kyodonews.jp/feature/iwate-miyagi_earthquake/2008/06/post_53.html
- 3) 田所 論: ロボティクスと関連技術による災害対応, 日本機械学会誌, Vol.112, No.1091, pp.35-36 (2009)
- 4) 田中良典・新井雅之・津久井慎吾・広瀬茂男: 瓦礫内推進連結クローラ走行車「蒼龍V号機」の開発, システムインテグレーション部門 講演会講演論文集, pp.319-320 (2005)
- 5) 川崎貴博・赤木徹也・堂田周治郎・王琳: 柔軟空気圧アクチュエータを用いた探索型レスキューロボットの試作, 岡山理科大学紀要, 第47号A, pp.27-32 (2011)
- 6) 赤木徹也・堂田周治郎: ロッドレス型柔軟空気圧シリンダの開発とその応用, 日本機械学会論文集(C編), Vol.73, No.731, pp.2108-2114 (2007)

Improvement of Search Type Rescue Robot Using Flexible Pneumatic Cylinder

Takahiro KAWASAKI, Tetsuya AKAGI*, Shujiro DOHTA* and Lin WANG

Graduate School of Engineering,

* *Department of Intelligent Mechanical Engineering, Faculty of Engineering,*

Okayama University of Science,

1-1 Ridai-cho, Kita-ku, Okayama 700-0005, Japan

(Received October 1, 2012; accepted November 1, 2012)

Recently, the natural disasters that lead to the flood by the earthquake and the global warming due to carbon dioxide are happened frequently. Therefore, rescue robots for searching victims are required higher mobility for the hazardous narrow and wet environment. In this study, we aim to develop the search type flexible rescue robot that can be used in wet condition. We proposed and tested the flexible sliding mechanism using a novel flexible pneumatic cylinder. In this paper, the improvement of the sliding mechanism so that it can travel into a narrower space and its application to a search type rescue robot is described. As a result, the tested robot can travel in the narrow space that the inner diameter is 50 mm smoothly by sliding the claw unit with the slide stage as an inchworm. In addition, by executing the water-proof test, it was confirmed that the proposed robot could be used in the water.

Keywords: rescue robot; flexible structure; flexible pneumatic cylinder;
McKibben artificial muscle.