

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2008～2009

課題番号：20760161

研究課題名(和文) 多自由度柔軟変形ロボットの開発

研究課題名(英文) Development of the soft transformation robot with multi degree of freedom.

研究代表者

青木 岳史 (TAKESHI AOKI)

東京工業大学・大学院理工学研究科・特任助教

研究者番号：20397045

研究成果の概要(和文)：

多自由度柔軟変形ロボットの試作として、複数の小エアバッグで構成するマット状の柔軟変形ロボットを試作した。そして小エアバッグの協調動作によって行う推進方式の検討を行うために、4個直列に連結し動作実験を行った。その結果、小エアバッグ単体では設計通りの性能を得ることができたが、協調動作での推進は地面との摩擦の影響で実現することができなかった。

研究成果の概要(英文)：

The soft transformation robot that is composed of small air bags and shaped a mat was developed as making b for trial purposes. And, 4 small air bags were connected as series to study the locomotion by cooperated operation and the performance experiment was done. As the result, the small air bag could get the performance same as the design. However, the locomotion by cooperated operation was not able to be achieved because of friction with ground.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,900,000	570,000	2,470,000
2009年度	1,400,000	420,000	1,820,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：5007

科研費の分科・細目：知能機械学・機械システム

キーワード：多自由度, 柔軟変形, 空気圧, 移動

### 1. 研究開始当初の背景

自然界には、自身の単純な形態を柔軟に変形させて運動を生成する生物が存在する。これら生物の形態や機能を理解し、多自由度で柔軟に変形する生物を模したロボットが実現できれば、従来は不可能であった形態での作業が可能となりその効果は大きいと考える。これまでに行われてきた3次元的な変形を行う多自由度柔軟変形ロボットの研究は少なく、総合的な動作を実現し実用レベルまで至ったロボットはまだない。実現が難しい要因としては、構成する機構の複雑さ、制御対象となる自由度の数や相互の干渉問題などが考えられる。さらに、これまでに相互干渉する複数駆動システムの制御法についての研究は行われておらず、実現させるためには新しい制御法の確立が必要不可欠である。

### 2. 研究の目的

本研究は多自由度柔軟変形ロボットを実現するために、膨張性と適度な柔軟性を併せ持ち、対人間環境においても親和性のはかれる空気圧に着目し、空気圧駆動を用いた多自由度柔軟変形空気圧ロボットの開発と、3次元的な変形動作の実現を目的とする。

### 3. 研究の方法

研究開始当初は大きな外皮カバーの中に複数個の内部エアバッグを配置した構造を考案し、各内部エアバッグの体積を制御して外皮カバーの形状を変化させることによって3次元的な変形動作を実現したいと考えた。

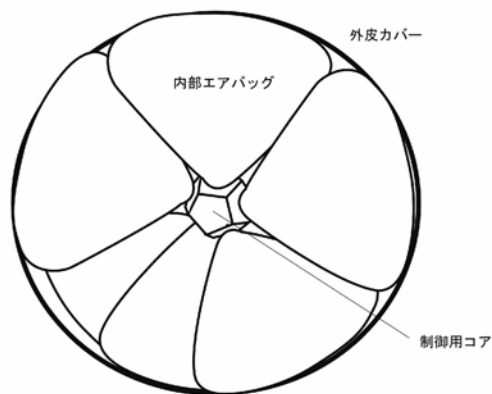


図1 外皮カバーと内部エアバッグ

従来提案されてきた複数の空気圧エアバッグの相互干渉を用いて3次元的な変形動作を実現しようとする機構は、構成するエアバッグの体積をエアバッグの内部圧力のみで制御しようとするものであった。しかし内部圧力の制御のみで体積を制御するにはエアバッグ自体の弾性と空気圧を拮抗させる必要があり、外力の加わる環境下において圧縮

性のある空気圧の制御だけでエアバッグの体積を正確に制御する事は困難であるために、従来この方式は実現に至らなかった。さらにエアバッグの内圧は拮抗するエアバッグの弾性に依存してしまうために、内部圧力を高圧に設定することが難しく、絶対的な出力が弱いために外環境からの影響を大きく受けてしまうという問題があった。そこでこれまでに研究を進めてきた「Bridle Drive」と呼ぶ駆動機構を応用して実現を試みた。Bridle Driveは高出力で伸展しようとする要素を制動装置付き巻取り機構により制御する複数本のワイヤで拘束し、伸展方向と伸展量を制御するシンプルな駆動機構であり、伸展（膨張）する要素を変更することにより、さまざまな形状に応用することができる。このBridle Driveを内部エアバッグに応用すれば、内部エアバッグの体積の制御を内部エアバッグの形状を拘束するワイヤが受け持つ事ができるので、内部エアバッグの形状をワイヤによって任意に制御できるとともに、内部圧力を可能な限り高く設定することが可能となり外力が加わる環境下においても十分に機能する機構が実現できると考えた。

しかしワイヤ拘束機構の試作検討した結果、必要な機能を満たすためには内部機構がどうしても複雑化してしまい、1つの内部エアバッグを構成する自由度が増えてしまうために、制御が必要な自由度の総和が大幅に増えてしまう事となった。そこで1ユニットあたりの自由度をなるべく減らす必要があり、その結果としてワイヤの制御自由度が必要な当初の案をやめることとした。さらに応用事例を再検討し、本研究では全方向移動可能なマット型柔軟変形ロボットの開発を行うことにした。

マット状の柔軟変形ロボットを推進させるためには、推進方法を(a)本体が変形して推進、(b)繊毛などの別機能により推進の2つに大きく分けることができる。本研究では(a)を実現させるために構成する複数のエアバッグの協調動作によって推進運動を実現する。またエアバッグ本体の構造を簡素化し、動作に必要な自由度を最小限に減らすこととした。

### 4. 研究成果

これまでに先行研究で開発してきた細長い体幹で構成するへび型ロボットの場合は、後ろから前へ縦波を送るように体幹を地面から浮かせて移動させ、これを連続的に行うことにより推進する。この推進方式を実現し、かつ1次元のへび型形状から2次元のマット型形状へ拡張するために、図2に示すような1辺100mmの連結可能な立方体型エアバッグの試作を行った。このエアバッグの耐圧は

0.3MPaである。このエアバッグは排気を行うと底面が接触している地面から離れるように、エアバッグの内側へ収縮するように曲げ癖をつけるための部材を底面に追加した構造としている。また前後左右に隣接するエアバッグと締結するためのタブ、全体のマット形状を保持するための拘束用ロッドを通すための吊輪、収縮時に隣接するエアバッグと干渉しないように上面に配置したエアチューブの取出しを持つ。各エアバッグはそれぞれ独立して給気、排気、保持の3状態を制御する必要があるため、各エアバッグごとに5ポート弁を使用して3状態の切り替えを行う(図3)。

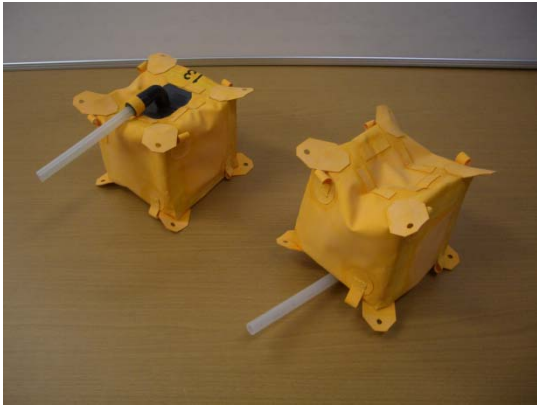


図2 試作したエアバッグ

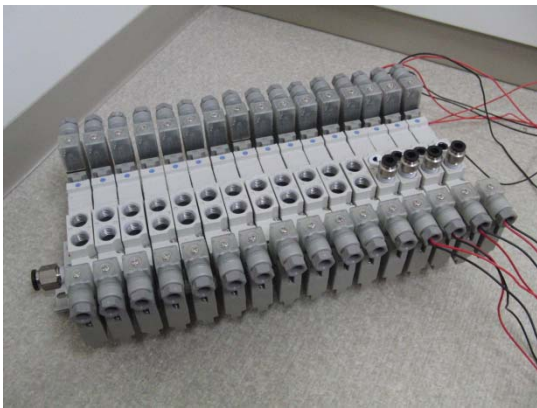


図3 5ポート電磁弁

試作したエアバッグを4個直列に連結し動作実験を行った。図4に示すようにエアバッグ同士を重ね合わせたタブによって締結し、外周に配置した超弾性の拘束用ロッドによって形状を維持する。エアバッグの吊輪には拘束用ロッドが通されているため、伸縮動作は拘束用ロッドに規制され直線運動となる。さらに連結するエアバッグは4個を一組とし、外周の拘束用ロッドの長さを、エアバッグ3個は膨張し、1個は収縮した状態での長さとなるようにした。そして拘束用ロッドによって全長を拘束することにより、連続する小エ

アバッグの膨張する力を利用して隣接する小エアバッグの排気を効率よく行い、スムーズな収縮運動を実現できる。エアバッグの吸気と排気を比較した場合、圧力差のある吸気時の方が短時間で空気を流入させることができるため、隣接する節の膨張を利用して排気を行い収縮させる方式は効果が大きい。今回は動作実験として、エアバッグを膨張させ、片側から1個ずつ収縮するエアバッグを移動させて縦波を送り、収縮するエアバッグを伝播させる実験を行った。その結果、隣接するエアバッグの膨張を利用したスムーズな排気を実現できたため、想定通りに収縮したエアバッグを縦波のように伝播させることができた。

次にエアバッグを4個連結した状態で推進動作をさせる実験を行った。連結したエアバッグの後方より前方へ向かってシーケンシャルに収縮する節を伝播させ、縦波を送ることによって推進動作を実現する。そして収縮する際にエアバッグの底面は地面より離れて内側へ収縮し、地面との摩擦を受けることなく収縮させる。この一連の動作により4個連結したエアバッグのうち2個は常に膨張した状態を保ち、残りの2個の間で収縮するエアバッグの移動を行うため、エアバッグ上に積載物を載せた場合でも常に膨張したエアバッグによって支えながら推進動作させることができる。しかし実際に推進動作を行って見たところ、収縮するエアバッグの底面と地面との間の摩擦は起きていなかったが、エアバッグ同士を締結するタブと拘束用ロッドを通すタブを備える端部が常に地面との摩擦を生み、それが原因で前方への推進を行うことができなかった。原因を検討した結果、この問題は拘束用ロッドを通す下側の吊輪の位置をエアバッグの下部より中間部へ移動させる事によって解決できるものと考え



図4 エアバッグの連結

本研究で開発したエアバッグの技術を利用してレスキュー用の空気圧ジャッキの開

発も行った。大規模広域災害発生時のレスキュー活動において、救助隊員が使いやすく、さらに災害現場での適応力のある汎用性の高い救助資機材の開発が求められている。そこで災害時に消防隊員や救助機器を侵入させる軌道を確認すると同時に、瓦礫に挟まった被災者を救助する揚程作業ができる空圧を利用した組合せ可能な空圧ジャッキ「空圧ピラー」の開発を行った(図5)。従来のエアバッグ型の空気圧ジャッキは内圧が全ての方向へ作用するために球形に膨張し、設置した際の安定性の悪さが問題となっていた。開発した空圧ピラーは円柱状に膨張し、上下の天板が平坦になるようにした。これにより設置時の安定性を確保するとともに、複数個を重ねて使用することも可能となった。現在は実用化に向けて改良を進めている。



図5 空圧ピラー

## 5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計1件)

- ① 青木, 広瀬: "レスキュー用ユニット型空圧ピラーの開発", Robomec2009, 1A2-G13, 2009年5月25日, 福岡国際会議場

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

青木 岳史 (AOKI TKESHI)

東京工業大学・大学院理工学研究科・特任助教

研究者番号: 20397045

### (2) 研究分担者

なし

### (2) 連携研究者

なし