JAIST Repository

https://dspace.jaist.ac.jp/

Title	膜面構造インフレータブルフレームを有する変形ロボ ットの開発	
Author(s)	前田,裕司	
Citation		
Issue Date	2005-06	
Туре	Thesis or Dissertation	
Text version	author	
URL	http://hdl.handle.net/10119/1980	
Rights		
Description	Supervisor:丁 洛榮,情報科学研究科,修士	



Japan Advanced Institute of Science and Technology

修士論文

膜面構造インフレータブルフレームを有する変形 ロボットの開発

北陸先端科学技術大学院大学 情報科学研究科情報システム学専攻

前田 裕司

2005年6月

修士論文

膜面構造インフレータブルフレームを有する変形 ロボットの開発

- 指導教官 丁 洛榮 助教授
- 審查委員主查 丁 洛榮 助教授 審查委員 松澤 照男 教授 審查委員 小谷 一孔 助教授

北陸先端科学技術大学院大学 情報科学研究科情報システム学専攻

310100前田裕司

提出年月: 2005年5月

Copyright © 2005 by Maeda Hiroshi

昨今,新潟県中越地震やイラン地震,スマトラ島沖地震による津波災害など,被災者が数 十万人にも上る自然災害が頻発している.また2001年には,アメリカ合衆国における9・ 11 同時多発テロ事件という人為的な都市型災害がもたらされた.そして今後30年以内に は,日本の東京から西日本にかけての太平洋海岸広域に対して,南海地震,東南海地震が マグニチュード7~8の規模で発生する確率は40~50%と言われており,その場合の予測 死亡者は7400名であるとされている.発生時刻によっては,予測値がこの数倍に膨れ上 がる可能性もあり,そういった都市型災害に対する防災・人命救助システムの確立が切望 されている.

本研究ではそれら災害に対して開発されているレスキューロボットについて研究を行っ た.レスキューロボットによる救助活動を行う際には,被災地に多くのロボットを輸送す る必要があるため,決められた容積内により多くのロボットを収納して被災地へ輸送する 技術が必要となる.そこで,本研究では移動ロボットへのインフレータブル構造物の適用 について検討した.インフレータブル構造物とは,風船のように膜面内に空気等のガス を充填することによって膨張展開し,機能する展開構造物の一種で,展開前の体積が展開 後の体積に比べて非常に小さく,伸縮率が非常に高いという特徴がある.このインフレー タブル構造物を移動ロボットのフレームに適用することにより,展開前の移動ロボットの 収納容積を大幅に削減することが可能となり,ロボットの収納効率を向上させることがで きる.これにより,収縮状態のレスキューロボットを被災地へ大量輸送し,被災地にてフ レームを膨張展開することにより,ロボットとして稼動するというシステムが実現可能と なる.また本研究は家庭内ロボットのように狭い空間内で使用が想定される場合の収納容 積の削減へも適用することができる.

本稿では,従来のインフレータブル構造物では実現不可能であった,展開前形状への 復元が可能なインフレータブルアクチュエータ (FSB:Film Surfaced Bellows,以下 FSB) を同研究室の原坂と共同開発し,製作および移動ロボットへ適用することによって,全長 1000[mm] から 770[mm] へと収納容積を削減し,展開後に移動ロボットとして稼動するシ ステムを実現したことを示した.

また,移動ロボットをレスキューロボットとして使用することを想定した場合,瓦礫な どを乗り越えて移動するための悪路走破システムが必要である.そこで本稿では,この収 縮可能なインフレータブル構造物である FSB の特徴を生かして,シャーシ下に収縮状態 で配置された空圧ジャッキ部と,ロボットの重心位置を前後にスライドさせることができ る伸展レール部を組み合わせることによって,FSB と重心移動を利用した障害物乗り越 え機構を提案した.本稿では,FSBを適用した空圧ジャッキと伸展レールを利用した障害 物乗り越え機構を移動ロボットへと実装し,障害物乗り越え実験を行うことにより,高さ 170 [mm] の障害物を10分で乗り越えられることを示した.そして本障害物乗り越え機構 による障害物乗り越え時間の短縮手法と,本機構の有効性および実現可能性を示した.

目 次

第1章	序論	1
1.1	背景	1
1.2	レスキュー工学研究について	1
1.3	本研究が目指すレスキュープロジェクト	3
1.4	障害物乗り越え機構を有するインフレータブルロボットの開発......	5
第2章	レスキューロボット	10
2.1	レスキューロボットの種類.............................	10
	2.1.1 探索支援型ロボット	10
	2.1.2 障害物除去支援型ロボット	11
	2.1.3 情報収集型ロボット	13
2.2	レスキューロボットの移動機構	13
	2.2.1 地上および瓦礫下における移動機構	14
	2.2.2 空中における移動機構	16
	2.2.3 その他の移動機構	17
<u></u>		
第3章	展開構造物	25
第3章 3.1	展開構造物 展開構造物の特徴....................................	25 25
第3章 3.1 3.2	展開構造物 展開構造物の特徴 機械式展開構造物	25 25 27
第3章 3.1 3.2 3.3	展開構造物 展開構造物の特徴	25 25 27 28
第3章 3.1 3.2 3.3 3.4	展開構造物 展開構造物の特徴	 25 25 27 28 28
第3章 3.1 3.2 3.3 3.4 第4章	展開構造物 展開構造物の特徴	 25 25 27 28 28 38
第3章 3.1 3.2 3.3 3.4 第4章 4.1	展開構造物 展開構造物の特徴	 25 25 27 28 28 38 38
第3章 3.1 3.2 3.3 3.4 第4章 4.1 4.2	展開構造物 展開構造物の特徴	 25 27 28 28 38 39
第3章 3.1 3.2 3.3 3.4 第4章 4.1 4.2 第5章	展開構造物 展開構造物の特徴	 25 25 27 28 28 38 38 39 43
第3章 3.1 3.2 3.3 3.4 第4章 4.1 4.2 第5章 5.1	展開構造物 展開構造物の特徴	 25 25 27 28 28 38 39 43 43
第3章 3.1 3.2 3.3 3.4 第4章 4.1 4.2 第5章 5.1	展開構造物 展開構造物の特徴	 25 25 27 28 28 38 38 39 43 43 45
第3章 3.1 3.2 3.3 3.4 第4章 4.1 4.2 第5章 5.1	展開構造物 展開構造物の特徴 、機械式展開構造物 インフレータブル構造物 本研究室にて開発したインフレータブル構造物 にて開発したインフレータブル構造物 たるま物乗り越え機構 従来の障害物乗り越え機構 こ 重心位置の移動を利用した障害物乗り越え機構 5.1.1 ジャッキ部 5.1.2 レール部	 25 25 27 28 28 38 39 43 45 45

5.2	収納効率実験結果..................................	52
5.3	障害物乗り越え実験	56
第6章	考察	62
6.1	エアジャッキ・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	62
6.2	収納効率向上実験結果	62
6.3	障害物乗り越え実験結果・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・・	63
	6.3.1 FSBの空気密閉精度による出力低下および操縦性悪化によるタイム	
		63
	6.3.2 ロボット部材の剛性不足によるエネルギーロスに起因した操縦性悪	
	化によるタイムロス	64
	6.3.3 FSB とコンプレッサ送吸気能力のバランスによって増減する展開時間	65
6.4	本障害物乗り越え機構	66
第7章	結論	69
第8章	今後の展望	70
参考文献		71

第1章 序論

1.1 背景

昨今,新潟県中越地震やイラン地震,スマトラ島沖地震による津波災害など,被災者が 数十万人にも上る自然災害が頻発している.また2001年には,アメリカ合衆国における 9・11同時多発テロ事件という人為的な都市型災害がもたらされた.そして今後30年以 内には,日本の東京から西日本にかけての太平洋海岸広域に対して,南海地震,東南海地 震がマグニチュード7~8の規模で発生する確率は40~50%と言われており,その場合の 予測死亡者は7400名であるとされている.発生時刻によっては,予測値がこの数倍に膨 れ上がる可能性もあり,そういった都市型災害に対する防災・人命救助システムの確立が 切望されている.

日本では阪神淡路大震災を機に、それら都市型大災害に対する人命救助システムについて 着目し始め,現在は特定非営利活動法人国際レスキューシステム研究機構(IRS:International Rescue System Institute, 2002 年4月発足) を中心として人命救助システムに関する研究 がなされている[1],[2].これらの研究で最も期待されているものに「ロボットを利用し た人命救助システム」がある[3].これは,9・11同時多発テロ事件において(図1.1),ア メリカのロボット研究者達が,レスキュー隊とともにチームを編成して移動ロボット(図 1.2) による人命探査活動を行い,複数の遺体をガレキ下等から発見したという成果事例を 発端としている [4]. この事例は, 生存者こそ発見できなかったが, 実際のレスキュー現 場において初めて公式にロボットが採用され、人間とロボットが協調した救助活動の有用 性を世界的に知らしめる出来事となった.その後,日本国内においても急速にレスキュー ロボットに関する研究が始まり,2002年には,文部科学省都市再生プロジェクト「大都 市大震災軽減化特別プロジェクト(通称:大大特プロジェクト)」の一部として,空中移 動グループ,環境モデリング・グループ,移動機構グループ,情報収集グループ,センシ ンググループ,ヒューマン・インターフェース・グループという6つのグループに分かれ て,ロボットやその関連技術を活用することによる災害対応技術についての開発がなされ ている.

1.2 レスキュー工学研究について

阪神淡路大震災から 10 年を経た現在でも続けざまに都市型大災害が発生している [5]. これらに対して 2005 年 4 月末に発生した JR 福知山線事故では, 阪神淡路大震災のとき



(a) **炎上する** WTC



(b) パンケーキ崩壊後の WTC 付近

図 1.1: 頻発する都市型大災害:9・11 同時多発テロ事件 (WTC: World Trade Center)



図 1.2: 9・11 同時多発テロ事件の際に人命探査に使用されたロボット: Inuktun 社製 micro-VGTV

の教訓を生かし,緊急時の医療システムについて少しづつ成果が見え始めている.それに 対し,現段階におけるロボットによるレスキューシステムの成果は依然目立った形で挙げ られていない.図1.3に示すように大災害はいつか来るという概念のものではなく,毎年 発生していることがわかる.IRSが提唱するように,これらに対してレスキュー工学の研 究とは少しづつでも成果を挙げていけるものでなければならない.これは,あるときを境 に急に使えるようになるロボットというものは到底作りえないためである.本研究では, この概念を目指すべく移動ロボットを製作した.

1.3 本研究が目指すレスキュープロジェクト

前節のような情勢のなか,本研究では移動ロボットへのインフレータブル構造物の適用 について検討した.インフレータブル構造物とは,風船のように膜面内に空気等のガスを 充填することによって膨張展開し,機能する展開構造物の一種で,展開前の体積が展開後 の体積に比べて非常に小さく,伸縮率が非常に高いことが特徴である.このインフレータ ブル構造物を移動ロボットのフレームに適用すれば,その高い伸縮率により,伸縮自在な ロボットのフレームを実現することができる.このことにより,展開前の移動ロボットの 収納容積を大幅に削減することが可能となり,ロボットの収納効率を向上させることがで きる.これはレスキューロボットのように被災地に多くのロボットを輸送する必要がある 場合に,決められた容積内により多くのロボットを収納して被災地へ輸送し,被災地でフ レームを膨張展開することにより,ロボットとして稼動&探索活動を開始するというシス テムが実現可能となることを意味する.

救急時におけるレスキュー活動には大きく分けて5つの工程があり,「被災地の情報収 集」,「被災者の探索」,「被災者の救助及び確保」,「被災者の搬送及び救護」に分けられる.



図 1.3: レスキュー工学研究の進むべき道

本研究が目指すレスキュープロジェクトとは,以上の工程における被災者の探索に関して 提案するものであり,具体的には図1.4~1.5 に示したレスキューロボットの搬送から被災 者発見までの5段階に分けたロボットによる探索支援計画を提案する.まず第一段階にお いてヘリコプターのようなもので交通網の麻痺した被災地へとレスキューロボットを搬送 する.このときにロボットにはインフレータブル構造物が適用されているため,従来のレ スキューロボットのサイズに較べて収納効率が高く,一度に大量のレスキューロボットを 搬送することが出来る.次に第二段階において被災地でレスキューロボットを膨張展開さ せ,障害物乗り越え可能なレスキューロボットを被災地にいる人々が獲得する.第三段階 に障害物乗り越え機構を用いて障害物を乗り越えて,被災者のいる可能性がある場所へロ ボットを移動させる.そして第四段階において障害物乗り越え機構を有する移動親ロボッ トから子ロボットを膨張展開させ,一斉に周辺の探索活動を開始する.そして最終ステッ プにおいて被災者を発見するという流れである.これらを実現するためには実に多くの問 題を解決しなければならないが,その中でも特に重要度の高い,伸縮率の高いインフレー タブルロボットという点と,障害物乗り越え機構について目標をしぼり,本研究を行った. 図1.6,図1.7に膨張展開機能を有するロボットのシステム構成とデータフローを示す.

1.4 障害物乗り越え機構を有するインフレータブルロボット の開発

前節の被災者探索支援プロジェクトを実現するため,本稿ではインフレータブル構造物を適用した伸縮可能な移動ロボットと,障害物乗り越え機構を有する移動ロボットについての研究を行った.本研究では従来のインフレータブル構造物では実現不可能であった,展開前形状への復元が可能なインフレータブルアクチュエータ(FSB:Film Surfaced Bellows,以下FSB)を同研究室の原坂と共同開発,製作および移動ロボットへ適用することによって,全長1000 [mm]から770 [mm]へと伸縮可能な移動ロボットを実現したことを収納効率向上実験から示した.本稿ではレスキューロボットに関する最近の研究を第2章で紹介し,展開構造物の紹介およびFSB についての説明を第3章で述べる.そして収納効率向上実験結果を第5章第5.2節で示し,考察を第6章第6.2節において述べる.

また本稿では、この収縮可能なインフレータブル構造物である FSB の特徴を生かして、 シャーシ下に収縮した状態で配置されたジャッキ部と、ロボットの重心位置が前後にスラ イドする伸展レール部を組み合わせることによって実現可能となる障害物乗り越え機構を 提案する.本障害物乗り越え機構は、移動ロボット自身が空気によって膨張展開する FSB を有することから、同様に空圧を障害物乗り越え機構にも利用することにより、シャーシ 下に空圧ジャッキを有する移動ロボットを実現する.この空圧ジャッキは、FSB を適用す ることによって従来の送りねじや油空圧シリンダによる展開に比べて大きな収縮率を実 現する.本稿では、FSB を適用した空圧ジャッキと伸展レールを利用した障害物乗り越え 機構を移動ロボットへと実装し、障害物乗り越え実験を行うことにより、高さ 170 [mm]



(a) Step 1: 被災地へ収縮状態のレスキューロボットを搬送



(b) Step 2:レスキューロボットを膨張展開!

図 1.4: 本研究のレスキュープロジェクト: 1~2 / 5



(a) Step 3: 障害物乗り越え機構を使い、瓦礫を登る



(b) Step 4:子供ロボットを膨張展開 & 探索開始!



(c) Step 5: 瓦礫下の被災者を発見!

図 1.5: 本研究のレスキュープロジェクト: 3~5 / 5



図 1.6: 本研究のレスキュープロジェクト:システム構成

の障害物を乗り越えられることを示した.本障害物乗り越え機構を第4章において提案し, 障害物乗り越え実験結果を第5章5.3節において示し,その考察を第6章6.3節において 述べる.

本稿は以上のような構成で,移動ロボットへのインフレータブル構造物の適用に関する 有効性と実現可能性を示す.



図 1.7: 本研究のレスキュープロジェクト:データフロー

第2章 レスキューロボット

本章では,都市型大災害が発生した際に今後の救助システムの要となる「人間とロボット の協調による救助システム」に向けて研究されているレスキューロボットについて紹介 する.

2.1 レスキューロボットの種類

レスキューロボットには大きく分類すると3種類の仕事がある.それは「探索支援」と 「障害物除去支援」、そして「情報収集」である.これらの仕事を全て実現するロボットを 製作することは、製造コストもメンテナンスコストも高価になってしまい、社会に普及さ せることを考えた場合、現実的ではない.そこで、現在は各仕事に特化したロボットが多 く研究されいてる.また社会にレスキューロボットを普及させるという目的で、救命活動 以外にシロアリ駆除の床下点検用途や配管点検といった機能を持たせるレスキューロボッ トや、一般家庭の庭先にある散水ホースや物干し竿を改良したレスキュー機器についての 研究もされている.以下では、レスキューロボットの各仕事についてとその目的の下に開 発されているレスキューロボットについて紹介する[6][7][8].

2.1.1 探索支援型ロボット

探索支援ロボットに与えられる仕事は,瓦礫の下や崩壊しつつある建築物内といった人 や救助犬が容易に入り込めない場所にいる要救助者を発見することである.特に崩壊し つつある建築物内に進入して救助活動を行っている際に,天井の崩落等によって犠牲者を 増やすことを二次災害と言い,二次災害は被災者だけでなく救助者にとっても最大の脅 威となる.これは9・11 同時多発テロ事件によって失われた犠牲者 2000 人以上のうちの 200 人が人命救助のためにWTCエリアに踏み込んだ消防士たちであることからも明らか である.探索支援型ロボットはこれら二次災害を防止し,要救助者が存在していないこと がわかるだけでも確認できれば良いということから,最も現場にとって必要とされている ロボットである.これら探索支援ロボットは主に瓦礫等の人間が踏めば崩れそうな,また は狭くすぎて入り込めない等という非常にデリケートな足場上を移動することが想定さ れており,そのためには人間よりも重量が軽いことを要求されたり,狭い空間にセンサを 通して人間がいる情報を収集できる事が望まれる.そのような状況では自ずとセンサの数 や機能は制限され,一つの活動について特化したロボットが有望である.主に瓦礫上での 移動に関してはあらゆる体勢を可能とするヘビ型移動機構や,容易な操縦性と高い悪路 走破性を有するクローラ型などの移動機構が採用されている.図2.1に探索支援型ロボッ トの例として,電気通信大学の松野研究室が開発した KOHGA と呼ばれるヘビ型移動ロ ボットと,MA-1と呼ばれるクローラ型移動ロボットを示す.この MA-1は,ケースにコ ントロールユニットと共にパッケージングすることまで考えられており,このケースを被 災地へ持って行くことで,被災地での救助活動を可能とするというコンセプトのもと設計 されている.

また,探索支援型ロボットには被災時に新たに開発されたセンサユニットを採用しての 探索活動も頻繁に行われるため,なるべくそれらを装備して使用できるようなアタッチメ ントを有することが探索支援型ロボットには求められている.また狭いポイントや電波の 届かなくなるポイントでの探索活動となることもしばしば多く,無線操縦よりも敢えて有 線操縦が求められることが多いということが探索支援型ロボットの特徴である.

本研究では,この探索支援型ロボットを開発した.

2.1.2 障害物除去支援型ロボット

障害物除去支援ロボットに与えられた仕事は,発見した要救助者や,または被災者が存 在するであろうと思われる地点までの経路を確保するための障害物を除去することであ る.これらの障害物は,主に瓦礫やコンクリートブロック等,重量物が主な対象であり, それらを除去支援するロボットはパワーショベルのような大型重機が多い.これら大型障 害物除去支援型ロボットは,これまで建築機械として用いてきた重機に改造を施し,比較 的実用レベルに達しているものが多い.だが実際はそのロボットを被災地へと迅速に搬送 する技術にはいまだ確立されておらず,実際の現場で利用され成果を挙げたという話はま だない.特に阪神淡路大震災や9・11同時多発テロの際もそうであったが,道路上が瓦礫 で封鎖され, 瓦礫下に要救助者がいる可能性がある場合, これら大型救助ロボットは被災 地への侵入さえ許可されない、これら障害物除去支援型ロボットが真価を発揮するために は、要救助者の位置同定ができないとしても、瓦礫下に人間が確実にいないということが わかる情報収集技術が必要不可欠である、現在は重機のような大型除去支援ロボットのほ かに,圧縮空気を地面に噴出して土砂を噴き分け,地面に穴をアクティブに空けていく技 術が研究されている.図2.2に(株)テムザックが開発した障害物除去支援型ロボット援竜 T-52を示す.このロボットは油圧駆動のマスタースレーブ方式による双腕マニピュレー タで障害物除去を行うロボットで,水冷三気筒直噴式エンジンで稼動し,エンジンによっ て同時に発電を行うため燃料がなくなるまで稼動可能である.また夜間における救助活 動も想定されており,ズーム機能付暗視カメラも搭載している.操縦は乗用操縦または遠 隔操縦が可能であり,車両を掴んで移動させることも出来る総重量5[t]の超重量級レス キューロボットである.援竜は消防訓練にも使用され,すぐにでも実用可能なレスキュー ロボットとして注目を集めている [9][10].



(a) KOHGA



(b) MA-1

図 2.1: 探索支援型ロボット:電気通信大学 松野研究室



図 2.2: 障害物除去支援型ロボット: 援竜 T-52 (株) テムザック

2.1.3 情報収集型ロボット

情報収集型ロボットの仕事は、やはり情報を収集することが仕事である.だが具体的に は被災者がどこにいるかという情報よりも、道路交通網の情報や建築物の倒壊状況、避難 者数や工場等からの危険物質流出など、救助システム全体が行動計画を立てるために必要 であるものが多く、情報収集のスピードこそが、救助活動を如何に素早く有効に展開し、 成功を収めるかを決定づける鍵である.そのため被災時にもっとも早急に広範囲の被災地 情報を収集できると言われているヘリコプター型の情報収集支援型ロボットがこれらの役 割を担っている.このヘリコプター型ロボットは、火山の噴火活動等の調査にも用いられ ており(図2.9)、被災時以外にも用途が多いことから既に実用レベルに達している[11][12]. また筑波大学の野波研究室ではヘリコプター上方から瓦礫等の障害物が降ってきた際に回 避するアクロバット飛行制御についての研究もしている.また、被災してから長期的また は詳細な情報収集に当たるために気球型ロボットとRF-ID タグを利用してネットワーク を形成する研究やInfo-Baloon と呼ばれる風船に信号機の機能や情報処理機能を与え、学 校や市役所等に配置しておき被災時にはそれらを浮かべることによって、移動することな く情報収集中継地点としての役割を果たすロボットについての研究もされている.

2.2 レスキューロボットの移動機構

前節ではレスキューロボットに与えられる大まかな仕事3種類について述べたが,各仕 事それぞれには仕事の種類を細分化していかない限り,最適であるという移動機構は決定 づけられてはいない.本節ではそれらレスキューロボットに採用されている多様な移動機 構について紹介する.

2.2.1 地上および瓦礫下における移動機構

レスキューロボットにおいて、地上及び瓦礫内を移動する機構は最も被災者探索に重要 とされているものである.それは,自力で脱出することが出来ずに生存している被災者 は、瓦礫下に出来た空間に存在することが大変多いからである、だがしかし、そういう被 災地はあまりにアンバランスな瓦礫状況である場合が多く,容易に救助隊も入り込めない ことが多い.このような場合,安全を確保しながら少しづつ要救助者に近づいていくこと になり,入り込めないような場所については瓦礫を切断するなどして経路を確保する必要 もある、これまでの人命探索活動に多く用いられていたものに棒カメと呼ばれる棒の先端 にカメラがついたものやファイバースコープが用いられてきたが,それらは2[m] ほどの 深さまでしか進入できない,または複雑な経路に合わせて変形することが出来ないなど多 くの問題があり,より深部まで観測可能な機器を現場は必要としている.これらの機器を 有効に使用するためにも瓦礫上,または瓦礫下を,瓦礫にダメージを与えず,それでいて スピーディに複雑な経路に対応できて進行できる機構が求められている.そのような要望 に対してクローラ型,車輪型,ヘビ型,脚型など多種多様な移動機構が存在しているが, どのような環境に対しても有効であるという移動機構は存在しておらずより有効である と考えられる方法を模索している最中である.また転倒するという概念も存在するためそ れらの影響を無くすための復帰機能等も求められる.ここでは,昨今開発されているレス キューロボットを例にいくつか代表的な移動機構を紹介する。

クローラ型移動機構

クローラ型移動機構は,昔から戦車などにも用いられ,悪路走破性が高く,操作も容易 であると言われている移動機構である.ベルトやキャタピラを使用するため設置面積が 広く,車輪型よりもスタックしにくいという特徴がある.また,悪路上での移動速度も高 速である.だが移動中にクローラに異物が詰まったり,ベルトが外れてしまうと,著しく 走行制御が困難になり,それだけで走行不能にもなるという欠点がある.図2.3に神戸大 学の高森・田所研究室のUMRSシリーズを紹介する.このUMRSはクローラで駆動し, UMRS-M1は上下に駆動可能なクローラアームを用いて障害物の走破を行い,上部に設置 されたエスパーアンテナを用いて人命探査活動を行うロボットである.また,UMRS-M2 はロボット本体とほぼ同等程度の谷間をおもりを用いたロボットの重心位置移動を利用し て走破を可能とするロボットで,通常の重心位置の移動しないロボットでは谷間の半分ま で行かないうちにバランスを崩して谷底に落下してしまうのだが,このロボットは絶えず 足場上に重心を配置するようにおもりを移動させるスライド機構を有しているため,その ような谷間でも走破を可能とする[13][14],[15].

本研究で開発した障害物移動機構にはこの重心移動の原理を利用して障害物移動を行っている.その際のおもりの役目はロボット重量に対して多くを占めているハイトルクな モータが果たしている. 車輪型移動機構は,自動車などでなじみがある移動機構で主に4輪で移動する物が多 い.車輪型移動機構はクローラ型に比べて設置面積が少ないため,スタックしやすく,悪 路走破のためにはシャーシ下から地上までの最低地上高というものが重視され,この隙間 が大きく,車輪径が大きいものほどスタックしにくく悪路走破性が高い.またこの機構は 平地での移動速度が最も高速である.図2.4に岐阜高専で開発された車輪型移動ロボット BABY-IIを示す.このロボットは上下に駆動するアームを持ち,悪路走破性の向上のみ ならず,転倒時の自己復帰機能も有する(図2.5).また,実装されている針金によるスケル トンホイールは,隙間に異物が入ると走行不可能となるが,瓦礫をしっかりと掴んで進行 するため非常に悪路走破性の高い仕組みである[16].また図2.6に示したレスキューロボッ トは東工大の広瀬・米田研究室において開発された玄武と呼ばれるレスキューロボットで, 中心軸に水の入った重い散水ホースを有し,車輪内に配置された低速ハイトルクな水圧駆 動モータによって移動する.主に火災現場へと進行してホース経路を確保することを目的 として開発された消防用ロボットで,目視せずとも自動スタック検知機能を有する.

多足型移動機構

多足型移動機構は移動速度は車輪等を用いたときに較べて劣るとされるが,細かな障害物状況の反力を検知しながら,瓦礫が崩れないように走行可能であるという利点を有する. また精密な作業を行う上で足場を安定させやすいといわれている移動機構である.ただし,脚数が多くなると一般ユーザにとって操縦性が困難になるという問題があり,ユーザインターフェースの改良が操作性の鍵を握る.図2.7に大阪大学のリムメカニズムロボットASTERISKを示す.このロボットは6本の脚を有し,各足先にはセンサユニットが設置されている.基本は4本の脚で移動を行い,残りの2本の脚先に設置されたセンサユニットを用いて探索活動を行う.各脚はワイヤとウィンチで駆動し,どう研究室で開発されているマルチセンサユニットと連携して人命探査を行うことを目的としている.またこのロボットは天地対称構造となっているため,転倒するという概念がない.

蛇型移動機構

ヘビ型移動機構はサイナスリフティング運動と呼ばれる蛇が移動する際に生成する独特 の曲線を描くことによって進行を可能とする移動機構で,進行方向への駆動用モータを持 たずとも姿勢制御用モータで各関節に関節トルクをかけるタイミングを制御するだけで 進行を可能とするロボットである.このロボットは関節数が多いため,瓦礫の複雑な形状 に適応しやすいという利点を有するが,現状では関節一つに対してモータを配置すること になるため,重量はかなりのものになってしまうという問題がある.この移動機構は蛇と いう自然界の移動法則を模したものであるため,特に狭いポイントへの進入や水上移動以 外にも,蛇の行動にある体幹を巻きつけることによって樹を登ったり,枝から枝へ伝うこ と等が可能となると考えられており,非常に興味深い移動機構である.図2.8 に東工大広 瀬・米田研究室のACM - R3 と呼ばれる3次元方向にも体幹をくねらせることのできる 蛇型ロボットを紹介する.このロボットは各関節ごとにモジュール化されており,各関節 には4輪の車輪が2対で進行方向に対して垂直に平行に配置されている.これは蛇の鱗が 進行方向に対して摩擦が発生しないのに対し,円周方向には滑りが発生しないことを車 輪で実現するためである.この各車輪は受動的にしか駆動せず,各関節には姿勢制御用の モータしか配置されていない[17][18][19][20].

2.2.2 空中における移動機構

ヘリコプター型

ヘリコプター型移動機構は移動速度が速く高速情報収集に適している.しかし,ロー ターを傷つけると墜落の危険があり,またローターによる下方向への風圧は瓦礫に荷重を 与えることが予想されるため,あまり低高度での探査目的での使用には向いていない.だ がホバリングや情報収集,被災地への物資搬入など,交通網が麻痺していることが想定 されている都市型大災害においては最も有効な移動機構といえるかもしれない.ただし, 操縦は非常に困難であり,墜落による二次災害の併発も懸念されるため,指令が届かない 高度に達した場合,自動で着陸するといったようなユーザインターフェース等を含めた制 御手法の開発に神経を使う分野でもある.また多くは広範囲における早期の情報収集が大 きな目的であるため,飛行経路を与えるだけでそれらの画像情報等を伝送する自立型無人 飛行を目的として研究されている.図2.9に京都大学の中西研究室で開発されたエアロロ ボットを示す.このロボットは自律で飛行して静止画像及び動画像をベースポイントに伝 送し,それらから飛行経路の三次元地図を生成するシステムを有するロボットである.

飛行船型

飛行船型はヘリコプター型に対して移動速度は遅く,地上から吹き上げてくる上昇気流 や隙間を通る突風などに弱いという弱点を持つが,ヘリのローターのように下方向に吹き 付ける圧力がかかることも無いため,瓦礫に触れることなく低空を移動することが可能で ある.また静穏性に優れているため人命探査における音声の聞き取りを邪魔する可能性も 低く,空中からの地表面に現れている人命探査用移動機構として最適である.また建物内 における地面にもダメージを与えることなく情報収集が出来るという利点を有し,大きな 飛行船になれば長期にわたる低速高高度航行も可能となるため,地上から送られてきた情 報を処理するエージェントとしての機能を与えることも可能である.このような仕事を割 り与えられているのが図??に示す飛行船エージェントである[21].

2.2.3 その他の移動機構

図 2.11 は神戸大学の高も利他どころ研究室で開発されたポータブルケーブルロボット である.このロボットはワイヤーを高さのある瓦礫上数箇所に設置し,そのワイヤーを手 繰ることによってワイヤーの張り巡らされた空間上を移動することが出来るロボットであ る.しかし,ワイヤーの張り巡らせ型によって自由度が大きく変化することや,いかにワ イヤーを張り巡らせるかなどの問題があり,今後が気になる研究である.図 2.12 に示し たロボットは神戸大学の大須賀研究室が開発した MOIRA と呼ばれるヘビ型ロボットで, 移動機構には多関節の各関節4面に進行方向に対して前後に駆動するクローラユニットを 全面に張り巡らせた物を採用しており,関節内にある一つのモータの駆動力を4面に伝達 するギアユニットを有しており,このクローラを用いて瓦礫下に潜り込み,情報収集する ことを目的として開発されている[22].

図 2.13 に示したロボットは電気通信大学松野研究室で開発されたネジ型推進ヘビロボットで,体幹部に設置されたネジ機構を回転させることにより,体をくねらさずとも前後進および水平横移動等が可能なロボットで非常に不思議で魅力的な移動をするロボットである.

また,図2.14に示したロボットは東工大の北川・塚越研究室で開発されたLeg-in-rotorIV と呼ばれるロボットで,通常は車輪による回転移動をし,障害物に差し掛かると,車輪内 に配置された空圧ジャンピングユニットで障害物を跳躍して回避するアクロバティックな ロボットである(図 2.15)[23].

また,図2.16に示したロボットは東工大の広瀬・米田研究室で開発された SlimSlime というロボットで,ミミズのように体幹をくねらせることによって移動可能なロボットである.



(a) UMRS-M1 (エスパーアンテナ装備)



(b) UMRS-M2(おもりによる重心移動を利用した
 瓦礫踏破機構装備)

図 2.3: 神戸大学 高森・田所研究室 クローラ型ロボット UMRS シリーズ



図 2.4: 岐阜工業高等専門学校 奥川研究室 BABY-II



(a) **転倒状態**

(b) **アームを**下げて,ボディを持ち上げる



(c) 自己復帰完了

(d) 探索再開





図 2.6: 東京工業大学 広瀬・米田研究室 玄武



図 2.7: 大阪大学 新井研究室 リムメカニズムロボット



図 2.8: 東京工業大学 広瀬・米田研究室 ACM-R3



図 2.9: 京都大学 中西研究室 エアロロボット



図 2.10: 理化学研究所 飛行船エージェント



図 2.11: 神戸大学 高森・田所研究室 ポータブルケーブルロボット



図 2.12: 神戸大学 大須賀研究室 MOIRA



図 2.13: 電気通信大学 松野研究室 ねじ推進蛇型ロボット



図 2.14: 東京工業大学 北川・塚越研究室 Leg-in-rotor-IV



(a) **写真**

(b) 概念図

図 2.15: 東京工業大学 塚越研究室 ジャンピングメカニズム



図 2.16: 東京工業大学 広瀬・米田研究室 Slim Slime

第3章 展開構造物

展開構造物とは,構造物自身が持つ展開機構を用いることによって,自身の形態を変形させ,機能する構造物のことである.この形態変形には可逆的なもののほかに,一度展開したら形態を凝固させ,構造物として永続的に用いることを目的とした不可逆的なものもある.本章では展開構造物の特徴について述べ,展開構造物の種類と応用例,ならびに本研究で開発した収縮状態へと復元可能なインフレータブルアクチュエータFSB(Film Surfaced Bellos) について述べる.

3.1 展開構造物の特徴

展開構造物の身近な例には,折りたたみ機構を有する傘や,伸縮機構を有する梯子(は しご),膜面内に空気を封入することにより膨張展開する風船や浮き輪,ボートなどがあ る(図3.1)[24][25][26].これら展開構造物は,展開後に対して展開前の容積が非常に小さ いという特徴がある.この特徴を利用することにより,傘のように必要なときには展開し て構造物を機能させ,不要なときは折りたたんで携帯輸送や収納スペースのコンパクト 化を実現することができる[28].また,展開構造物はスペースシャトルを用いた宇宙空間 への宇宙構造材料の輸送のように,輸送コストが非常に高い状況に対しても,限られた収 納スペースへ機能的に格納することが可能であるため,収納による無駄なスペースの発 生を極力抑えることができ,非常に有効である.また展開構造物は,宇宙空間におけるモ ジュールの組み立て工程においても,展開機構を機能させるだけで大型構造物へと変形す ることできるため,モジュールの大型化が可能となり,人間が容易に作業できない場所で の作業量を大幅に削減することができる.そして展開構造物はその展開機構により,容易 に数百[m]または数[km]スケールの大型構造物を形成することができるため,特に重力 の影響を考慮しないですむ宇宙構造材料として注目を集めている.その場合の大型宇宙構 造物は軽長薄大となるため,振動制御が重要な問題となっている.

このように展開構造物は,高い収納効率を持ち,容易に大型構造物を形成できるという 利点を有する.

だが展開構造物は構造材料として以外に展開機構を必要とするため,展開前や展開過 程,そして展開後を含めた構造物設計が必要となり,従来の単体の構造物設計よりも困難 な物となる.また特に大きな問題としては,展開機構における展開不良の問題がある.展 開不良はヒンジやレール部のたわみ等による精度不良や,磨耗や金属疲労,または膜面が 破損したことによる空気漏れ等によって発生する. 本研究では,展開構造物の中でも風船膜面による膨張展開を利用したインフレータブ ル構造物を主に扱う.インフレータブル構造物は,先に例に挙げた浮き輪やボートのよう に,機械式展開機構を持たないため,フレームのたわみ等による展開不良を起こさない. また機械式展開機構はレールなどを稼働するために,モータなどのアクチュエータを別に 必要とするが,インフレータブル構造物はアクチュエータそのものが構造物となるため機 構が単純になり,軽量化が望めるという利点がある.



(a) 🅸



(b) **梯子**



(c) エアバッグ





3.2 機械式展開構造物

展開構造物の例としてよく挙げられるものに大型宇宙構造物がある.図3.2 国際宇宙ス テーション(ISS: International Space Station)を示す.このISSにも展開構造物が適用さ れており,伸展マストや太陽電池パドルに用いられている展開トラス構造物や,太陽電池 パドル部に適用されている屏風状に折りたたみ,レールで展開する屏風式展開構造がある (図3.3).これらの展開構造物は機械式展開構造物と呼ばれ,機械的なヒンジやレールな どを組み合わせることによって展開する.本研究ではそれら機械式展開機構には本来頼ら ないインフレータブル構造物についての研究を行うが,本研究の設計段階ではインフレー タブル構造物の剛性やロボット部材に使用する材料剛性等の情報不足状態での設計を行う こととなったため,各所に剛性強化を目的とした機械式展開機構を配置している.



S100E5970 2001/04/29 18:13:19

図 3.2: 国際宇宙ステーション (ISS: International Space Station)

3.3 インフレータブル構造物

インフレータブル構造物とは,膜面内に空気等のガスを充填して内圧を発生させ,膜面 に張力をかけることによって膨張展開して機能する構造物のことで,展開前は非常に容積 が小さく,気体を充填するだけで展開が可能であるため,機械式展開構造物に較べてヒン ジの製作精度や使用回数による磨耗および金属疲労などによる展開不良が起こりにくい という利点を有する.その反面,膜面を使用しているため,膜面が破れてしまうと能力が 激減し,機能しなくなることがあることが欠点としてあげられる.また,インフレータブ ル構造物には安定した形態が展開前と展開後の二状態しかなく,機械式展開構造物と違っ て展開過程においては不安定状態であり,形状が一意に定まらないという特徴がある.図 3.4 に米ジェット推進研究所 (JPL : Jet Propulsion Labratory)で開発されたインフレー タブルローバーと図 3.5,3.6 に同 JPL で開発され,火星探査機の軟着陸用に用いられたエ アバッグを示す.インフレータブルローバーは見ての通り骨組みとタイヤしかない外観で あるが,人の肩の高さほどまである大型インフレータブルタイヤ内に送受信ユニットなど が組みこれており,水上移動も可能な3輪ローバーである[27].

3.4 本研究室にて開発したインフレータブル構造物

本研究室で開発したインフレータブルアクチュエータ FSB(Film Surfaed Bellows) を図 3.9 に示す. 直径は 70[mm] で展開時の全長が 300[mm], 収縮時には全長 70[mm] へと変形 し,従来の油空圧シリンダに較べて3~4倍のストローク幅を持つ.本アクチュエータは 展開前と展開後という2状態と,外力に応じて受動変形しながら駆動する展開収縮過程と いう計3状態を有する、図3.73.8にソリッドワークスで作成したモデルを示す、構成は 両端部パーツと寸法安定性の高い膜面及び収縮率の高いジャバラによって構成されてい る.膜面にはポリイミドフィルム(株)東レ・デュポン社のものを適用しており,このフィ ルムは厚さが 0.025[mm] で, 耐熱性や絶縁性また強度に優れ, 特に寸法安定性が高いこと が本 FSB の性能を実現している特長である.本 FSB の使用圧力は 0.1 [MPa] であり, 0.2 [MPa] 付近の圧力で使用すると破裂する.ポリイミドフィルムを基材としたカプトン両面 接着テープを膜面全体に張り巡らせれば, 0.2[MPa] 程度の圧力でも膜面が破裂しなくな るが,カプトン両面テープが高価であり,また膜面接着時の製作難易度が高く,接着面に しわが発生するとそのしわを通じて空気漏れが発生することから、本研究では円筒膜面端 部のみに安価な強力両面接着テープを用いて FSB を製作し,使用に耐えうることを確認 したためそれらを適用した.またカプトン両面接着テープに用いられているシリコーン系 接着剤を塗布して FSB を製作する方法についても研究中であるが,均一に薄く塗布しな ければ厚みで展開方向に方向性が現れたり、凝固したシリコーンが伸縮時に支障をきたし たり,シリコーン剤の薄い点から破裂するなどの問題が起こるため,シリコーン系接着剤 を用いて製作する方法に対しても高い製作技術が求められる、今後は熱融着等を利用し て製作し,端部パーツとの接着箇所もゴムパッキン等で密閉精度を高める設計を行えば,

全長 (展開時)	$300 \ [mm]$
全長 (収縮時)	$70 \; [\mathrm{mm}]$
外径寸法	ϕ 70 [mm]
出力 (展開時:膜面内圧 0.1[MPa])	1540 [N]
出力 (収縮時:膜面内圧 0.05[MPa])	770 [N]
使用圧力	$0.1 \; [MPa]$
限界圧力	$0.15 \; [MPa]$
重量	110 [g]

表 3.1: FSB(Film Surfaced Bellows) 仕様

より高圧での使用が可能となり高出力を出せるアクチュエータになると考えられる.本 FSBの仕様を表 3.4 に示す.本FSBの重量は 110 [g] と軽量であり,それでいて出力は展 開時 1540[N] (0.1[MPa] 使用時),収縮時 770[N] と大きな値であるが,空気漏れのためこ の値よりも実際はかなり低い(本FSB にかかる膜面内圧は送気側と吸気側で異なるため, モータ等のアクチュエータとは違って展開出力と収縮出力に違いが発生することに注意が 必要である.)[29][?].

また,本FSBに用いている伸縮ジャバラは高速伸縮展開を可能とするためにジャバラの 各所に空気抜きのための穴が開いている.本FSBはその穴を使用してジャバラ内を通し た空気を膜面内へと送気している.また伸縮ジャバラの使用範囲は720[mm] ~ 250[mm] であるが,実際は400[mm]付近まで優に延び,本研究では高速伸縮展開することも無い ので,少々無理をして300[mm]まで展開可能なFSBのジャバラとして使用している.



S99E5546 2000:02:16 23:05:11

(a) 伸展マスト



(b) 太陽電池パドル

図 3.3: ISS の機械式展開構造物


(a) インフレータブルローバー (スケール)



(b) インフレータブルタイヤ (内装)

図 3.4: インフレータブルローバー



(a) 1 ブロック展開図

(b) 全ブロック展開図

図 3.5: 火星探査機 着陸用エアバッグ(図面)



図 3.6: 火星探査機 着陸用エアバッグ(写真)



(a) 3D モデル



(b) **分解図**

 \boxtimes 3.7: FSB (Film Surfaced Bellows) $\,$: drawn by Solid Works



(a) **側面(展開時)**



(b) **側面(収縮時)**

🗵 3.8: FSB (Film Surfaced Bellows) : drawn by Solid Works



(a) 正面

(b) **側面(収縮時)**



(c) 側面(展開時)

- (d) 側面(展開収縮過程)
- 図 3.9: FSB (Film Surfaced Bellows) :写真

膜面材料	
ポリイミドフィルム (カプトンフィルム)	東レ・デュポン株式会社
タイプ	100V
厚さ	$0.025 \; [mm]$
強度	340 [MPa]
伸度	80 [%]
ヤング率	3.4 [GPa]
絶縁破壊電圧	$400 \; [kV / mm]$
熱収縮率	$0.04 \ [\%]$
熱膨張係数	27 [ppm /]
湿度膨張係数	24 [ppm / % RH]
吸水率	2.9 [%]
熱伝導率	$0.15 \; [w / m \cdot]$
対折回数	$\geq 20,000$ [Cycle]
体積低効率	$1 \times 10 \text{E15} [\Omega \cdot m]$
ジャバラ	
丸ジャバラ	株式会社 ナベル
長さ	$72 \text{ [mm]} \sim 250 \text{ [mm]}$
外径寸法	$\phi 50 \mathrm{[mm]}$
オプション	空気穴 有
固定方式	フランジ方式
端部パーツ	
プラスチック ラウンドケース	2 [個]
長さ	35 [mm]
外径寸法	ϕ 70 [mm]
内径寸法	ϕ 64 [mm]
膜面接着剤	
強力両面テープ	
固定用ネジ	
精密ネジ φ 2 [mm] × 15(L) [mm]	4 [本]
精密ねじ用ナット	4 [個]
なベ小ネジ φ 3 × 20(L) [mm]	4 [本]
ナット ϕ 3	4 [個]

表 3.2: FSB 構成材料

(カプトンフィルム: http://www.td-net.co.jp/Kapton/)

(丸ジャバラ:http://www.bellows.co.jp/)

表 3.3: 膜面接着剤

局耐熱シリコーン用カフトンフィルム	
シリコーン両面粘着テープ 4390	住友スリーエム株式会社
厚さ	0.130 [mm]
引張り強度	51 [N / cm]
伸び	70 [%]
粘着力 (180 度方向)	4.5 [N / cm]
保持力	0 [mm]

粘着テープ試験について

引張り強さ:テープを引っ張り,切断したときの力を測定した値. 伸び:テープを長さ方向に引っ張り,曲面,凹凸面に順応する応力を数値化したもの.% 表示され,100%の場合,10 [cm]のテープが20 [cm]まで伸びることを意味する. 粘着力:ステンレス板にテープを貼り,180 [°]に折り曲げるか,直角に剥がしたときに どれ位の力に耐えられるか試験した値.数値が大きいほど粘着力が強い. 保持力:段ボール等にテープを垂直に貼り,1 [kg]のおもりをつけ,1時間後にずれた長 さを測定した値.数値が小さいほどずれにくい.

(メーカー仕様より. http://www.mmm.co.jp/tape-adh/bonding/filmbasis/4390/index.html)

第4章 障害物乗り越え機構

移動ロボットをレスキューロボットとして使用することを想定した場合, 瓦礫などを乗り 越えて移動する悪路走破システムが必要となる.本章では, FSB を適用した障害物乗り 越え機構について述べる.

4.1 従来の障害物乗り越え機構

障害物乗り越え機構には,ロボット自身が有する移動機構を利用してアームを付加した ものと,その移動機構のみでは走破不可能である障害物に対して用いるものがあり,前者 は上下に駆動可能なクローラアームが(図2.3),後者には投擲テザーを打ち出してウィン チのような巻取り機構をによって障害物走破を実現する研究が知られている(図??).駆 動クローラアーム型は,その名の通り駆動するクローラ部が上下に稼動するアームになっ ており,神戸大学のUMRSシリーズが代表的な例である.この機構は,障害物に相対し たときに通常のクローラ部として使用している部分を肩として,肩を中心にアームを持ち 上げることにより,障害物にアームを引っ掛けて障害物の走破を行う.この機構は操作も 容易で,移動速度を落とすことなく障害物を乗り越えていくことが出来るが,クローラ型 の弱点であるクローラが外れてしまった場合の障害物乗り越え効果が激減してしまうこと と,走破可能な障害物の高さがクローラの長さによって予め決定されていることが弱点と して挙げられる.またクローラ駆動機構以外にアーム上げ下げ用の駆動機構が必要とな り,肩部は両機構が密接,またはリンクする箇所のため機構が複雑になりがちであるとい う問題がある.

そこで,駆動クローラアームのように従来の移動ロボットが持っている移動機構では走 破出来ないような障害物に対して走破を可能とする目的で研究されているものに,東京 工業大学広瀬研究室の投擲ハイパーテザーがある.この研究は,先端に手錠機構のついた 棒(ロッド)をロボットが対象に向かって撃ち出し,何らかの自重を支えられるものに先 端アーム部を引っ掛け,ロボットに搭載されたウィンチを用いてロッドにつながるワイヤ を巻取り,障害物走破を可能とする機構である.この機構はテザーのワイヤ長さと,飛距 離で走破可能な障害物の高さが決定される.しかし撃ち出すという機構が障害物にダメー ジを与える可能性があるため,アンバランスな瓦礫が再び崩壊する危険のある場所では使 用できない.そこで,本研究ではそれらロボット自体が有している移動機構では容易に走 破できない障害物に対して走破を可能とするような障害物移動機構について検討してい く.次節では,本研究で提案する障害物乗り越え機構について述べる.



図 4.1: 東京工業大学 広瀬研究室 レスキュー用投擲ハイパーテザー

4.2 重心位置の移動を利用した障害物乗り越え機構

本研究で提案する障害物乗り越え機構は,神戸大学の高森・田所研究室で開発された UMRS-M2という重心位置移動を利用してロボット全長とほぼ同等の隙間を越えていくと いう研究コンセプトを参考に考えた.

本研究における障害物乗り越え機構は,ジャッキ部とテレスコピック機構による伸展 レール部を用いることによって,ロボットの重心位置を上下前後方向に移動可能とし,障 害物乗り越えを実現する機構である.

本ロボットの前後部の重心位置はそれぞれ駆動部付近に存在している.ジャッキ部はロ ボット前後部のシャーシ下に配置し,重心位置を上下に移動させる.また伸展レール部は, ロボット駆動部とジャッキ部の上下2箇所を前後スライドさせる機構が前駆動部と後駆動 部の2箇所の計4箇所に配置され,それぞれ重心位置の存在する駆動部およびジャッキ部 を前方へ移動することが可能である.本研究では,ジャッキ部およびレール部のアクチュ エータにインフレータブルアクチュエータを適用することにより,従来のエアシリンダと 較べて伸縮時はコンパクトな収納スペースを,展開時には充分な伸展距離を実現する.

本障害物乗り越え機構の手順を図 4.2 に示す.移動ロボットが障害物に遭遇した場合, ロボット前部のジャッキを展開し,ロボット前部の重心位置をジャッキアップする.次に前 部のレールを展開することにより,ロボット前部の重心位置を障害物上へと移動させる. これによりロボット前部の重心が障害物を乗り越えたため,ロボット後部から前部の姿勢 を支えながら,重量の軽いジャッキ部を収縮させ,レール部のアクチュエータを収縮させ ることにより,ロボット前部が障害物の乗り越えを完了する.同様にロボット後部につい ても重心位置のジャッキアップ,レール伸展,ロボット重心の障害物乗り越え完了,ジャッ キ部収縮,レール部収縮という手順で,ロボットの障害物乗り越えを完了する. このとき,伸展レールによって重心位置がどれだけ移動するかを以下に算出した.図 4.3 に駆動部前部の左側のみを抽出した図を示す.本移動ロボットは進行方向の中心軸に対して線対称となっている.このため,質量分布を一定とした場合,ロボットの重心位置は必ず進行方向の中心軸上に存在する.そのため以下の計算式において必要となるのは図における重心位置の進行方向成分のみである.レールの質量を m_1 ,レール幅をt,モータ質量を m_2 ,モータの重心位置を $(b_x/2, b_y/2)$ とするとき,重心位置は r_1 , r_2 を用いて,以下のようにあらわされる.

$$m_1 \cdot r_1 = m_2 \cdot r_2 \tag{4.1}$$

$$r_2 = \frac{m_1}{m_2} \cdot r_1 \tag{4.2}$$

$$r_1 \cos\theta + r_2 \cos\theta = \frac{L}{2} - \frac{b_x}{2} \tag{4.3}$$

ここで,必要となるのは進行方向成分のみであるのでx成分のみを計算する.式 4.3 に式 4.2 を代入して,

$$r_1 \cos\theta = \left(\frac{m_2}{m_1 + m_2}\right) \cdot \left(\frac{L - b_x}{2}\right) \tag{4.4}$$

$$r_2 cos\theta = \left(\frac{m_1}{m_1 + m_2}\right) \cdot \left(\frac{L - b_x}{2}\right)$$
(4.5)

を得る.同様にレールが△L伸展した場合についても考えると,r₁/

$$m_1 \cdot r_1 \prime = m_2 \cdot r_2 \prime \tag{4.6}$$

$$r_2 \prime = \frac{m_1}{m_2} \cdot r_1 \prime \tag{4.7}$$

$$r_1 \prime \cos\theta \prime + r_2 \prime \cos\theta \prime = \frac{L}{2} - \frac{b_x}{2} \tag{4.8}$$

式 4.8 に式 4.7 を代入して,

$$r_1 \prime cos \theta \prime = \left(\frac{m_2}{m_1 + m_2}\right) \cdot \left(\frac{L - b_x}{2}\right) \tag{4.9}$$

$$r_2 \prime cos \theta \prime = \left(\frac{m_1}{m_1 + m_2}\right) \cdot \left(\frac{L - b_x}{2}\right) \tag{4.10}$$

以上より,式4.9-式4.4 により,重心位置の移動距離 Δx を得る.

$$\Delta x = \left(\frac{L + \Delta L}{2} + r_1 \prime \cos\theta\right) - \left(\frac{L}{2} + r_1 \cos\theta\right)$$
(4.11)

$$= (1 + \frac{m_2}{m_1 + m_2}) \cdot \frac{\Delta L}{2} \tag{4.12}$$

Step 1 : フロントジャッキ展開



Step 2 : フロントレール展開







Step 5 : リアジャッキ展開



Step 3 : フロントジャッキ収縮



Step 4 : フロントレール収縮



Step 7 : リアジャッキ収縮







● : ロボット前後部の重心位置

図 4.2: 障害物乗り越え機構コンセプト



図 4.3: 左前駆動部のレール伸展前後による重心移動 (上:伸展前,下:伸展後)

第5章 実験

5.1 開発した移動ロボットの構成

本研究で開発した FSB による伸縮展開および障害物乗り越え機構を有するインフレー タブル移動ロボット「JAI-Rover-I」を図 5.1 に示す。本ロボット JAI-Rover-I は、前駆動 部と後駆動部と FSB によって構成された中間部の3つ部分によって構成されている。FSB による障害物乗り越え機構は、前駆動部と後駆動部に組み込まれている。



図 5.1: 本研究で開発したインフレータブル移動ロボット「JAI-Rover-I」



(a) **構成図**



(b) **分解図**



5.1.1 ジャッキ部

本障害物乗り越え機構に用いるジャッキ部を図 5.3, 5.4 に示す. 本ジャッキ部は 300 [mm](L) × 400(W) [mm] の両平板間に4本のFSB を各頂点付近に配置し、各辺の中心付 近にはジャッキの展開方向を拘束するための蝶番による折りたたみ機構がある、本ジャッ キの出力は FSB の使用圧力が 0.1 [MPa] のとき 6240 [N] であるが, FSB の空気漏れが激 しいため実際はもっと低い.本ジャッキ部はインフレータブル構造物という観点からする と展開方向の拘束機構があるため単純な展開機構とは言い難いが、ジャッキは本来重量物 を上面に支持して面間距離を拡げてジャッキアップしていくものであるため、展開過程に おけるジャッキの展開方向に対する剛性が維持できない場合,展開方向を特定できないと いう問題がある.本研究における FSB は展開前と展開後の2状態は安定しているが,展 開過程においては膜面内圧が均等ではなく気体も膜面内を移動するため,張力が膜面に一 様に発生しない、そのため、形状が一意に定まらず、絶えず鉛直の展開方向に荷重を受け ているため, FSBの展開方向が横へとスライドしていき, 膜面が FSBの上面端部と地面 に挟み込まれる形となってしまい,膜面とジャバラを傷つける可能性があった.この場合, 膜面内圧を高めていけばあるときを境に急にジャッキアップ後の形態へと変形するのであ るが,展開方向が著しくずれた状態で展開を行った場合,ジャッキアップによってロボッ トがバランスを崩して転倒する恐れがあるため,図 5.4(b)のような蝶番を用いた折りた たみ機構を製作して,鉛直方向へと展開方向を定めた.また,この蝶番による折りたたみ 機構のみでは4本のFSBを均等に展開させることは出来ない.上面が傾いて4本のうち のいくつかに負荷をかけて伸展を妨げ,他の3本が展開しているにも拘らず,1本だけ展 開していないような状況となってしまうためである.そこで4本のFSBに均等な圧力が かかって伸展距離が同等となるように太目の輪ゴムを用いて上面から絶えずゴムの張力を 与えることによって伸びている FSB には強いゴムの張力を,伸びていない FSB には弱い ゴムの張力がかかる機構を採用した、これにより、本ジャッキの展開方向が拘束され、鉛 直方向に展開するジャッキを得ることができた.昨今のジャッキとしてはXジャッキと呼 ばれるものが東工大の広瀬研究室と(株)日本ギアで開発および市販されており,本ジャッ キ機構にもその機構を採用するほうが展開方向をより安定させることが出来るであろう. しかし、本研究では製作も容易であるため、ゴムと蝶番を利用した折りたたみ機構を採用 したエアジャッキを製作した.

5.1.2 レール部

本障害物乗り越え機構においてロボットの重心位置の前後スライド機構の役目を果たす ものがこのレール部である.このレール部は1対2本が前後上下の4箇所に配置されてお り,計8本のレールによって構成されている.下2対の伸展レールが,重心位置を障害物 乗り越えを完了させた後のジャッキ部格納用に用いられ,上2対の伸展レールが駆動部付 近に存在する重心位置の移動用に用いられる.図5.6にフロント部における上下レールの



(a) ジャッキアップ



(b) ジャッキダウン

図 5.3: JAI-Rover-I : ジャッキ部 (Solid Works Model)



(a) ジャッキアップ



(b) 展開方向拘束機構: 蝶番による折りたたみ機構(拡大図)

図 5.4: JAI-Rover-I : ジャッキ部 (写真)



図 5.5: 東京工業大学 広瀬研究室 X - ジャッキ

展開の様子を示す.

5.1.3 空気圧回路

JAI-Rover-Iの空気圧回路を図 5.7 に示す. コンプレッサは送気側と吸気側に分け,送気 側のコンプレッサには最大圧力 0.25[MPa] のものを二台使用し,吸気側のコンプレッサ には真空到達度-0.05[MPa] のものを使用している.送気側コンプレッサは,ジャッキ部の FSB8本に接続された1台,そして伸展レール部4本と伸縮用中間部フレーム4本のFSB 計8本にもう1台を接続する.また,吸気側はDCモータコンプレッサを6台接続して一 斉に吸気を行っている.これは,ジャッキアップして高圧がかかっている状態のFSBから 低圧の伸展レール部のFSBへと空気経路が接続された場合,高圧側の空気が低圧側に流 れ込み,ジャッキ部の剛性が失われるのを防ぐためである.





(a) 展開前

(b) フロントレール上部:展開後



(c) フロントレール下部:展開後

図 5.6: フロントレール展開の様子



図 5.7: 空気圧回路

表 5.1: 空気圧回路構成部品:空気経路関連

ウレタンチューブ	PISCO Co.	UB0640 - 20 - C
フィルタレギュレータ	PISCO Co.	FRF300 - 03 - MD
チューブフィッティング	PISCO Co.	PC6 - 03
チューブフィッティング	PISCO Co.	PC6 - 01
手動制御弁 (チェンジバルブ)	PISCO Co.	HBV6 - 6
継ぎ手	PISCO Co.	PE6
継ぎ手	PISCO Co.	PVU6
継ぎ手	PISCO Co.	PV6
継ぎ手	PISCO Co.	PC6M
継ぎ手	PISCO Co.	PE6M
継ぎ手	PISCO Co.	PZA6M

DC モータ(ダイヤフラム 方式)	
真空ポンプ/コンプレッサ兼用タイプ	メドー産業
型式	DP0140
到達真空度	-53.3 [kPa]
吐出空気量	4 [l / min]
定格電圧	DC12 [V]
最高圧力	$0.05 \ [MPa]$
耐用時間	500 [時間]
吸入口サイズ	5(外径) [mm]
吐出口サイズ	5(外 径) [mm]
取付寸法	52(L) [mm] x 36(W) [mm]
本体質量	$0.19 \; [kg]$

表 5.2: 空気圧回路構成部品:吸気側コンプレッサ1

(メーカー仕様より.http://www.medo.co.jp/New-index1.html)

表 5.3: 空気圧回路構成部品:送気側コンプレッサ2

ダイヤフラムコンプレッサー	株式会社キソパワーツール
型式	E5305
最高圧力	$0.25 \; [MPa]$
吐出空気量	12 [l / min] (0.2MPa 時)
消費電力	80 [W]
吐出口サイズ	PF1/8 凸
定格使用時間	30 [min]
サイズ	210(L) [mm] × 111(W) [mm] × 147(H) [mm]
本体質量	2.7 [kg]
ウレタンホース (両口 PF1/8 凹)	2 [m](E1312)
振動防止スポンジ	

(メーカー仕様より.http://www.kiso-proxxon.co.jp/top05.html)

5.2 収納効率実験結果

FSB に空気を入れることにより,収縮状態から展開状態へと移行する.このとき,中間 部フレームが 230 [mm] 膨張展開し,本移動ロボットのフレームとして使用に耐えること を確認した.これにより,展開状態の全長 1000[mm] から,収縮状態の全長 770 [mm] へ と 230 [mm] 全長を縮めることが出来ることを確認した.展開時間は 8 秒である.

収納効率 =
$$\frac{展開時の容積}{展開前の容積}$$
 (5.1)

とすると, 収納効率は 30 [%] 程度の向上となった.



(a) 展開前



(b) **展開後**





(a) **展開前**



(b) **展開後**





(a) **展開前**



(b) **展開後**

図 5.10: 中間インフレータブルフレーム:側面(拡大図) 55

5.3 障害物乗り越え実験

実験方法は, JAI-Rover-I を高さ 17 [cm] の障害物に対して正対させ,障害物乗り越え 実験を行う.

本実験結果を図 5.11~5.15 に示し,障害物乗り越えが可能であることを確認した.また,障害物乗り越え時間は約 10 分であった.



(a) Step 1 / 9 : スタート



⁽b) Step 2 / 9 : フロントジャッキアップ

図 5.11: **障害物乗り越え実験** : STEP 1~2 / 9 57



(a) Step 3 / 9 : フロントレール展開



(b) Step 4 / 9 : フロントジャッキダウン

図 5.12: **障害物乗り越え実験 :** STEP 3~4 / 9 58



(a) Step 5 / 9 : フロントレール伸縮 & リアジャッキアップ



(b) Step 6 / 9 : リアレール展開

図 5.13: **障害物乗り越え実験** : STEP 5~6 / 9 59



(a) Step 7 / 9 : リアジャッキダウン



(b) Step 8 / 9 : **リアレール**収縮

図 5.14: **障害物乗り越え実験** : STEP 7~8 / 9 60



(a) Step 9 / 9 : 障害物乗り越え完了!

図 5.15: 障害物乗り越え実験 : STEP 9 / 9

第6章 考察

6.1 エアジャッキ

本障害物乗り越え機構に適用しているジャッキは,展開方向を拘束するために,蝶番で 平板を接続した折りたたみ機構を採用しているが,この折りたたみ機構には,4本のFSB が均等に展開するためにゴムの張力を利用して4本の内圧差を減少させている.このゴム は市販の強い輪ゴムを適用しているだけなので,内圧の平均化は大雑把なものとなってい る.このため,ジャッキとしての機能の信頼性を上げるためには,4本のFSBに対する展 開距離と内圧調整を行うか,展開方向の不安定さが無視できるほど短いFSBを多段に連 結して瞬間展開を繰り返すか,または他の機構を利用したハードウェアによる拘束が必要 となる.これらの方法のうち,4本のFSB内圧と展開距離を制御する方法は,空気漏れを 含めた流量制御や,膜面展開形状の制御を行うこととなるため,非常に困難であり,早期 の開発を求める場合,これらは現実的ではない.そこで短いFSBの多段連結による瞬間 展開法か,Xジャッキに用いられている拘束機構を適用することがジャッキ部の信頼性の 向上に有効であると考える.

6.2 収納効率向上実験結果

収縮時のロボットの全長は展開時に比べ 230 [mm] 短くなることが確認できた.これに より,従来の柔軟性のないフレームで構成されているときを 100 [%] とすると,収納効率 が 30 [%] ほど向上することがわかった.また,駆動部の形状や重量等を工夫すれば,折 りたたんで収納することも可能になるため,従来の柔軟性のないフレームを FSB に置換 することは収納容積の低減に非常に有用であるいえる.また,展開状態の FSB の曲げ剛 性については,本研究の障害物乗り越えを行うロボットのフレームとして十分に使用に耐 えられるものを実現した.また,FSB の内圧を調整することにより,中間部のフレームに 柔軟性を与えることも可能であることを確認した.ただし,本研究で適用している FSB は密閉精度がそれほど高くないため,空気漏れの影響が大きく,FSB 内に空気を充填し ても 10 秒ほどで膜面に内圧がかからなくなる.そのため,現在のところは FSB をフレー ムとして使用する際にはコンプレッサで空気を送り続けている.実際に現代社会で機能し ている内圧を封入する膜面構造物も定期的に空気を送り込んでいることから,完全にコ ンプレッサレスというわけにはいかず,実用化の際にもコンプレッサで定期的に空気を送 は使用目的に応じて実用に耐えられる程度に FSB の密閉精度を高めるしかない.また本 研究で製作したロボットは重量, 寸法がともに大きくなってしまったため, 本ロボットの 前後部を接続する中間部フレームのように両端の荷重を支える部分に FSB を適用した場 合, FSB に内圧がかかっていないペシャンコ状態でロボットを移動させると, ロボット 前後部の慣性による引っ張りやねじり荷重が FSB 膜面の一部に集中し, 膜面に大きなダ メージを与えることがわかった.このため本ロボットの中間部フレームは, 収納状態とい う膜面内圧がかかっていない状態におけるロボットの移動の際に, 取り扱いがデリケート なものとなってしまった.この結果より, 内圧がない状態の FSB 両端に荷重がかかる場 合は, 膜面材料の強度とロボット質量とのバランスが重要となり, このバランスがあまり にアンバランスになると, 収縮状態でロボットを扱ったときに FSB にダメージが集中し て破損することがあることがわかった.

6.3 障害物乗り越え実験結果

本障害物乗り越え機構により,高さ170 [mm]の障害物を移動ロボットが乗り越えるこ とを確認した.このとき,本移動ロボットが障害物乗り越えに要した時間は約10分であ る.この時間は,ほかのクローラやアームによる障害物走破を行うロボットと比較すると 良いものではない.また実際のレスキュー現場でロボットがレスキューチームとの連携を 取るためには捜索要求を受けてから2分以内で捜索結果を返す能力が要求される.以上の 前提と本実験結果からFSBを適用した障害物乗り越え機構の有効性について考察する.

まず本障害物乗り越え機構が,障害物乗り越えに10分の時間を要する原因を追求した ところ,以下の問題が挙げられた.

- FSBの空気密閉精度の悪さによる出力低下および操縦性悪化によるタイムロス
- ロボット部材 (アクリル板,ポリカーボネート板)の剛性不足によって発生したスライド部の干渉摩擦によるエネルギーロスに起因した操縦性悪化によるタイムロス
- FSB とコンプレッサ送吸気能力のバランスによって増減する展開時間

以下では上記の各問題に対する考察を述べる.

6.3.1 FSB の空気密閉精度による出力低下および操縦性悪化によるタイ ムロス

本研究で製作した FSB は、素人が手作りしていることによる製作精度の悪さと、密閉 精度を高めるように設計していないという設計段階による問題のため,空気密閉精度が大

変悪い. また本 FSB には膜面内の内圧調整機能を実装していないため , このまま FSB の 密閉精度を高めても膜面内圧が高圧になりすぎて FSB が破裂してしまうという問題があ る(図 6.1 に膜面内圧が高圧になりすぎて破裂した FSB を示す.).本空気圧回路には圧 力調整用レギュレータが送気用のコンプレッサ2台のそれぞれに接続しているが,これは 大元の空気圧を 0.1 [MPa] に調整しているだけであるため , 各 FSB それぞれには一律の内 圧を与えているわけではない、そのため手動制御弁を開閉するたびに高圧であった FSB の空気が低圧の FSB に流れ込み,高圧状態の FSB の剛性が失われるという問題があった. それら高圧であった FSB が重要な荷重を支えていたりするとロボット全体のバランスが 崩れ,障害物乗り越え作業を著しく困難化させる.本研究ではこの問題に対しては2台の 送気側コンプレッサを用意することによって応急処置的に対処しているが、コンプレッサ 数を削減して実用化を図る場合は,各FSBに内圧調整機構を実装することが必要不可欠 となるだろう.またこの密閉精度に関する問題は,吸気側に対して与える影響も大きい. これは吸気側コンプレッサの単位時間当たりの吸気量が膜面内に膜面外から流入する空気 量を超えなければ収縮することが出来ないからであることと,本ロボットは展開していな い箇所の FSB は常に収縮状態であるため,収縮用コンプレッサが一元化されている本空 気圧回路の場合、一つのFSBの空気漏れの密閉精度の悪さが収縮状態の数だけ累乗され て影響するためである.この影響を最も受けるのが収縮方向に出力するときのレール部に 配置された FSB である.この FSB は一本でジャッキ部,もしくは駆動部を前後にスライ ドさせる働きをするもので、このポイントは後に述べる部材の剛性不足による摩擦も増加 しており,特にモータを駆動させずに駆動部を FSB 収縮のみによってスライドさせるこ とを考えた場合,収縮出力不足でレールが収縮しきれないことがわかった(図6.2).この 問題に対しては, FSBの密閉精度を上げるほかに, 車輪に突起部をつけて障害物へ回転 トルクを確実に伝達させる機構を作り,レール部 FSB への負担を低減することや,吸気 側の空気圧回路にコンプレッサの吸入流量が, FSB への空気流入量を超えるような設計 が必要となる.

6.3.2 ロボット部材の剛性不足によるエネルギーロスに起因した操縦性 悪化によるタイムロス

本ロボットはロボット部材の軽量化を目的にアクリル板やポリカーボネート板を多用し て設計されている.だが本設計ではジャッキ部と駆動部において必ず曲げ荷重による誤差 が発生するものとなっていたため,その値が部材の剛性不足により大きくなり,相乗効果 で駆動部底面とジャッキ部上面が干渉し,伸展レールによる前後スライド部に摩擦が発生 するという問題がある.特にジャッキ部上面にはジャッキ部4本のFSBを設置するために ネジやナットが突出しているため,前後スライドする駆動部底面が曲げによってたわみ, それらに引っかかるという問題があった.これにより伸展レールに使用されているFSB に必要以上の負荷がかかり収縮出力不足という大きな原因となり,ひいては操縦性の悪化 を招いていた.この問題は,材料物性とモータ配置や前駆動部重量が大型化してしまった ために発生した剛性不足であるため,これらの設計見直しにより干渉摩擦の発生を防ぎ, 障害物乗り越え作業に対する困難化を防止することができる.本研究では応急処置的に駆 動部底面およびジャッキ上面間にフリーベアリングを設置することにより剛性不足による 干渉摩擦を低減している.

6.3.3 FSB とコンプレッサ送吸気能力のバランスによって増減する展開 時間

FSB は膜面構造物であるため,伸縮展開を行うためにはコンプレッサの送吸気能力の 高さがじかに現れる.本研究における空気圧回路で伸縮展開を行った場合,FSB 一本あ たりの展開に約8秒の時間を要した.そのためジャッキ部においては展開時間が単純計算 その4倍かかることになり,実際30秒程度でジャッキアップを完了する.これらを吸気側 に関しても計算すると,

- フロントジャッキアップ工程(32秒)
- フロントレール伸展工程(8秒)
- 前進行動 (2秒)
- フロントジャッキダウン工程 (30 秒)
- フロントレール収縮工程(8秒)
- 前進行動 (2 秒)
- リアジャッキアップ工程(32秒)
- リアレール伸展工程(8秒)
- 前進行動 (2~10秒) ;- この工程において車輪が障害物とスリップし,タイムロスが起こる.
- リアジャッキダウン工程 (30 秒)
- リアレール収縮工程(8秒)

最速でも上に示した計 170[sec] が障害乗り越えに必要となる.コンプレッサ送吸気能力の 増大化,空気密閉精度の向上,そして展開膜面の全長が乗り越えるべき段差に応じて変化 し,送り込むべき空気の量を最適化するような機構が必要となる.本手法には短い全長で 多段連結した FSB を順次膨張展開させることによってジャッキアップ&ダウン距離を調 整できるようになるものと考えられる.

6.4 本障害物乗り越え機構

本研究を通して本稿で提案した障害物乗り越え機構は実用に適しているか考察する. まず本障害物乗り越え機構を実用化するためには「、乗り越え時間が長すぎる」「膜面 が破れる可能性がある」「コンプレッサの数が多すぎる」「あらゆる障害物に対応できな い」「意外と全備重量が重い」という問題を解消する必要がある.

まず、「乗り越えに要する時間が長すぎる点」に関しては、前節でも述べたとおり、「操 縦性向上」、「ロボット部材および寸法に関する設計の見直し」、「コンプレッサ送吸気能力 の増大化」、「空気密閉精度の向上」、「障害物高さに対する展開膜面全長の最適化機構の実 装」の以上5点が必要不可欠である.これらのうち、コンプレッサ送吸気能力の増大化と 空気密閉精度の向上に関しては早い段階で限界に達する.そのため、これらの能力があま りに向上されない場合は、障害物乗り越え速度という点での本機構のメリットは無いこと となる.

次に「膜面が破れる可能性がある」という懸念であるが,確かに膜面構造物であるため,突出物の多い瓦礫上での使用に本障害物乗り越え機構が適しているかは定かではない.また,本膜面材料に用いているカプトンフィルムは引っ張り強度や耐折り回数において非常に優秀であるが,耐刃性能に関しては非常に脆く破れやすい.そのため,カプトンフィルムを今後も使用する際は,フィルム表面をケブラー素材のような防刃性に優れた素材で覆うことが必要となる.また,カプトンフィルムではなく消防用ホースを用いるという手法も考えられるが,消防ホースそのものは円筒軸方向に対する伸縮率が非常に低いので,ジャッキ下に本展開方向拘束機構に用いた折りたたみ機構のように折り曲げて配置し,送吸気することで稼動するジャッキシステムへと変更する必要があるだろう.膜面を傷つける問題に対しては以上二点の対処法で,内圧による破裂を防ぐためには,空気密閉精度を高めながらもFSB内圧調整機能を付加すれば問題が解決する.

次に「コンプレッサの数が多すぎる」という問題に対しては,コンプレッサの送吸気能 力がロボット全体の反応速度に直結するため,作業目的に応じてトレードオフをするしか ないと言える.

次に「あらゆる障害物に対応できない」という問題に対してであるが,現状ではFSB は完全に展開するか収縮しているかの状態でなければ基本的に安定状態ではなく,鉛直方 向へと展開するがゆえに展開過程においては展開方向が拘束された後も,両端面間の膜 面がどのような挙動をとるか予測が出来ない.この問題に対しては,FSBがジャッキ外面 へとはみ出ないよう,そして外部からの異物が入り込まないようにジャッキ全体をカバー すれば良い.また,現在のジャッキは底面が平面であるため,ジャッキアップするために は滑りが多すぎて,不整地上でジャッキアップを行えば重心位置が高くなることによりロ ボット全体が転倒することが考えられる.この問題に関しては,不整地上での実験を行 い,対処法を考えるしかないが,そもそも本障害物乗り越え機構は重心移動を可能とした ものであるので,転倒防止するように重心位置を移動させる制御を行えば,転倒しにくい ロボットを作ることが出来,その結果不整地でもある程度の対応をしながらジャッキアッ プが可能ではないかと推測する.また本障害物乗り越え機構は,FSBの全長を伸ばすほ


図 6.1: 破裂した FSB

ど,従来までの送りねじ式や油空圧シリンダによる展開方式に比べて単純かつ大きな伸縮 率を得ることができるので,もっと大きな障害物の乗り越え専用として適用すれば非常に 障害物乗り越えに有利になると推測する.

最後に「意外と全備重量が重い」という問題に関してだが,これはロボットにおける駆動部が大きくなりすぎたためである.これら駆動部の軽量化とコンパクト化はインフレー タブルロボット全体の操縦性の向上,部品信頼性の向上,必要出力が少なくてすむように なることにより展開容積の縮小化による展開時間の高速化,コンプレッサ数の削減,ロ ボット部材寸法の縮小化およびFSB置換箇所の増加など,全ての面に対して影響を与え る.よって,この駆動部をいかにコンパクト化するかが今後のインフレータブルロボット の自由度の未来を握っているといえる.

以上の点に関して改良を行えば,現場でも使用可能な障害物乗り越え機構を有するイン フレータブルロボットが実現可能となると考えられる.



図 6.2: 収縮出力不足で収縮しきれない駆動部スライド用レールの FSB

第7章 結論

本研究では,本研究室で開発したインフレータブルアクチュエータ FSB を適用した障害 物乗り越え機構を有する移動ロボットを製作し,収縮実験および障害物乗り越え実験に よって以下の結論を得た.

- FSB をロボットのフレーム部材に適用することにより, ロボットの収納効率の 30% 向上を実現した.
- 展開後の FSB はロボット部材として十分に耐えられることを確認した.
- ●内圧を大まかに調整することにで,FSBの剛性を変化させることができることを確認した.
- ●本障害物乗り越え機構によって高さ17 [cm]の障害物を約10分で乗り越え可能であることを示した.
- ●本障害物乗り越え機構の実用化に必要な改良点を第6章考察において示した。
- 駆動部の軽量化および縮小化が,インフレータブルロボットの自由度を決定づける ことを述べた.

以上より,本論文では,ロボットへのインフレータブル構造物の適用について検討し, その有用性について述べ,実際にインフレータブル構造物を適用した移動ロボットを製作 して,障害物乗り越えの検証実験を行うことにより,実験結果から有用性および問題点と 今後の実現可能性について述べた.

第8章 今後の展望

本研究の今後の展望を以下に示す.

- 本障害物乗り越え機構に適用しているジャッキの展開拘束機構に、ゴムと蝶番および平板利用した折りたたみ機構を適用しているが、ゴムの信頼性や蝶番の加増部における材料強度に起因する機構であるため信頼度が低い。そこで、短いFSBの多段連結による瞬間展開法か、Xジャッキに用いられている拘束機構を適用することがジャッキ部の信頼性の向上に有効であると考える。
- 「ロボットの操縦性向上」,「ロボット部材および寸法に関する設計の見直し」,「コンプレッサ送吸気能力と重量とのバランス調整」,「空気密閉精度の向上」,「障害物高さに対する展開膜面全長の最適化機構の実装」
- 駆動部のコンパクト化によるロボット全体の軽量縮小化を行い, FSBの適用箇所および,駆動必要出力のパワーダウンを行い,省エネルギーで稼動する FSB を適用した移動ロボットの製作.

参考文献

- [1] 田所 諭,「大都市大震災軽減化特別プロジェクト」,日本機械学会誌, Vol. 106, No. 1019, pp. 803-806, 2003.
- [2] 特定非営利活動法人 国際レスキューシステム研究機構: http://www.rescuesystem.org/
- [3] 高森,田所他,「レスキューロボット機器研究会報告書」,日本機械学会,1997, http://www.r.cs.kobe-u.ac.jp/ tadokoro/rescrep
- [4] Robine R. Murphy, **牧田** 忍 (翻訳), 「ニューヨーク世界貿易センター(WTC)での レスキューロボット |, 日本機械学会誌, Vol. 106, No. 1019, pp. 794-802, 2003.
- [5] 防災システム研究所: http://www.bo-sai.co.jp/index.html
- [6] 「文部科学省大都市大震災軽減化特別プロジェクト 被害者救助等の災害対応戦略の 最適化 レスキューロボット等次世代防災基盤技術の開発 第2回国際シンポジウム 論文集」,国際レスキューシステム研究機構,2004.
- [7] 特定非営利活動法人 国際レスキューシステム研究機構(旧HP)大大特研究テーマ: http://www.rescuesystem.org/ddt/thema.html
- [8] 天野 久徳, 「消防防災ロボット」, 日本機械学会誌, Vol. 106, No. 1019, pp. 778-781, 2003.
- [9] 「救急救助ロボット T-52 援竜」, "Newton," Vol. 24, No. 4, pp. 78-85, 2004.
- [10] 株式会社テムザック [援竜 T-52]: http://www.enryu.jp/
- [11] 森川 泰, 小森川 清, 「情報収集飛行ロボット」, 日本機械学会誌, Vol. 106, No. 1019, pp. 775-777, 2003.
- [12] 京都大学航空宇宙工学専攻 振動制御工学研究室: http://vib.kuaero.kyoto-u.ac.jp/

- [13] 高森 年, 小林 滋, 「災害における羅災者発見とクローラ型ロボット」, 日本機械学会 誌, Vol. 106, No. 1019, pp. 782-785, 2003.
- [14] 神戸大学 高森研究室: http://robomec.cs.kobe-u.ac.jp/
- [15] UMRS オフィシャルページ: http://www.r.cs.kobe-u.ac.jp/umrs/pukiwiki/index.php
- [16] 奥川雅之, 三宅 英介, 藤村 甫, 「情報収集型レスキューロボット 「BABY II」における自己復帰メカニズム」, 日本機会学会 ロボティクス・メカトロニクス講演会'04 講演論文集, 2P2-H-41, 2004.
- [17] 広瀬 茂男, 松野 文俊, 「レスキュー用ヘビ型ロボットの開発 ー形態設計とその制御ー」, 日本機械学会誌, Vol. 106, No. 1019, pp. 769-773, 2003.
- [18] N. Sato, F. Matsuno, T. Yamasaki, T.Kamegawa, N. Shiroma and H. Igarashi, "Cooperative Task Execution by a Multiple Robot Team and Its Operators in Search and Rescue Operations," Proc. of IEEE/RSJ International Conf. on IROS, pp. 1083-1088, 2004.
- [19] 東京工業大学 広瀬・米田研究室: http://www-robot.mes.titech.ac.jp/home.html
- [20] 茨城大学 馬・井上研究室: http://roboken.dse.ibaraki.ac.jp/
- [21] 浅間 一, 川端 邦明, 倉林 大輔, 嘉悦 早人, 野田 賢一, 「被災者探索用知的データキャ リア」, 日本機械学会誌, Vol. 106, No. 1019, pp. 786-789, 2003.
- [22] 神戸大学 大須賀公一 レスキューロボットに関する研究: http://www.control.mech.kobe-u.ac.jp/osuka/moira.html http://www.control.mech.kobe-u.ac.jp/osuka/rescue.html
- [23] 東京工業大学 北川・塚越研究室: http://www.cm.ctrl.titech.ac.jp/
- [24] Knirps社 http://www.knirps.de/
- [25] 株式会社アルインコ http://www.alinco.co.jp/

- [26] 株式会社八イビックス http://www.hivix.co.jp/
- [27] 米ジェット推進研究所 (JPL : Jet Propulsion Labratory) http://mars.jpl.nasa.gov/MPF/mpf/mpfairbags.html
- [28] 新技術融合シリーズ: 第2巻「知的複合材料と知的適応構造物」, 日本機械学会, 1996.
- [29] 「シェルの振動と座屈ハンドブック」, 日本機械学会, 2003.
- [30] 南 宏和, 「 膜面構造物設計における膜の弾性理論 |, 日刊工業新聞社, 1998.