

Title	多段インフレータブルフレームを有する姿勢制御ユニットの開発
Author(s)	朝比奈, 啓博
Citation	
Issue Date	2006-03
Type	Thesis or Dissertation
Text version	author
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10119/1951">http://hdl.handle.net/10119/1951</a>
Rights	
Description	Supervisor: 丁 洛榮, 情報科学研究科, 修士

修 士 論 文

多段インフレータブルフレームを有する姿勢制御  
ユニットの開発

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

朝比奈 啓博

2006年3月

修士論文

多段インフレータブルフレームを有する姿勢制御  
ユニットの開発

指導教官 丁 洛榮 助教授

審査委員主査 丁 洛榮 助教授

審査委員 松澤 照男 教授

審査委員 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

410001 朝比奈 啓博

提出年月: 2006 年 2 月

## 概要

近年，新潟中越地震やスマトラ沖地震など自然災害また，ニューヨーク世界貿易センターへのテロ攻撃による人為的都市型災害によって数千人の被災者が発生している．そのような場合平時の消防・救助体制では対処しきれないため，大量のロボットによるレスキュー活動が期待されている．しかし現状では，軽量化および収納効率の向上はロボット自体の縮小化および分解によるものが限界とされ大量の搬送が困難であり，家庭内ロボットが普及した際には，ロボットの収納効率は重要な問題である．また，被災環境は一様ではないためその状況ごとに適応した形状へと変形する必要がある．

そこで本研究では，多段インフレイタブルフレームを開発することにより軽量化や収納効率の向上，対象状況ごとに適応した形状の変形を実現する．本研究で提案するインフレイタブルフレームは膜面内に気体を充填することで膨張展開する．このため従来のフレームに比べ収納効率が高く，軽量という利点を有する．また，インフレイタブルフレームが多段になっているので収納形態から展開膜を選択することにより多数の展開形態へ変形する．これにより軽量かつ3自由度をもつインフレイタブルフレームを実現でき，レスキュー現場などで対象状況に応じたロボットの適応を可能とする．

# 目次

第1章	序論	1
1.1	背景	1
1.2	目的	1
第2章	関連研究および考慮される課題	3
2.1	関連研究	3
2.1.1	探索支援型ロボット	3
2.1.2	障害物除去支援型ロボット	5
2.1.3	情報収集支援型ロボット	6
2.2	考慮される課題	7
第3章	展開構造物	8
3.1	展開構造物の特徴	8
3.2	インフレータブル構造物の特徴	9
3.3	本研究にて開発したインフレータブル構造物	9
第4章	姿勢制御機構および制御方法の提案	15
4.1	姿勢制御機構	15
4.2	制御方法	19
第5章	開発したFSB-module構成	20
5.1	多段FSBフレーム	20
5.2	制御システム	22
第6章	評価実験	26
6.1	予備実験	26
6.2	姿勢実験	26
6.3	角度実験	28
6.4	動作実験	29
第7章	考察および結論	32
7.1	考察	32
7.1.1	予備実験評価	32

7.1.2	姿勢評価 . . . . .	32
7.1.3	角度評価 . . . . .	33
7.1.4	動作評価 . . . . .	33
7.2	結論 . . . . .	34
第 8 章	今後の展望	35

# 第1章 序論

## 1.1 背景

近年，阪神淡路大震災や新潟中越地震，イラン地震などの自然災害や2001年のニューヨーク世界貿易センター (World Trade Center:WTC) へのテロ攻撃による人為的な都市型災害などによって被災者が数千人に上る災害が頻発している．また，日本では今後30年以内に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，東海地震などのマグニチュード7～8規模の地震が40～50%の確率で起こると言われ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) を中心に人命救助システムに関する研究がなされている [1][2][3]．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 [4]．これはWTCへのテロ攻撃の影響でロボットが都市型搜索救助 (Urban Search And Rescue:USAR) 活動に使われるようになり，レスキュー隊と共にチームを編成して移動ロボットによる人命救助活動を行い，複数の遺体を瓦礫下から発見したという事例を発端としている [5]．この事例で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レスキューロボットに関する研究が急速に高まり，2002年に文部科学省都市再生プロジェクト「大都市大震災軽減化プロジェクト (大大特プロジェクト)」によっ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開発がなされている．

このように平時の消防・救助体制では対処しきれない災害が発生した場合ロボットによる救助活動が期待されている．

また，ロボットを用いた救助作業は救助隊員の命を危険にさらすことなく崩壊寸前の建物内外への探索を可能とする．このため二次災害を防ぐ可能性が高まると考えられ期待されている．

## 1.2 目的

前節に述べたように，ロボットを用いた救助活動は平時の消防・救助体制では対処しきれないため大量のロボットによる救助活動が期待されている．しかし，このような事件や

災害における救助効率の向上をはかる場合、ロボットを被災地へと大量に搬送する必要があるが、搬送効率を向上させるために必要な軽量化および収納効率の向上はロボット自体の縮小化および分解によるものが限界とされ大量の搬送が困難である。また、家庭内ロボットが普及した際には、救助機能を付加させ製品を社会に浸透させる計画が進められている。このようなことからロボットの収納効率は重要な問題であると考えられている。

また場所や時期、建築物の形状などから被災環境は一様ではないため、救助作業を行う際には状況ごとに適応した形状へとロボットが変形する必要があると考えられており、被災現場で破損した際には簡単な修復で救助活動に戻れることが必要であると考えられている。

本研究ではレスキューロボットの軽量化や小型ヘリなどによるロボットの大量搬送時における収納効率化の向上などの問題や対象状況ごとに適応した形状への短時間で変形可能などの問題に対し、インフレイタブル構造物をフレームに適用した多段フレームの開発によりこれら問題の解決を提案する。

また、被災現場でロボットの一部が破損するなどいう場合も十分に考えられるので、簡単な修復で救助活動に戻れるモジュールの開発によりこの問題解決を提案する。

本研究で提案するインフレイタブルは膜面内に気体を充填することで膨張展開する。このため従来のフレームに比べ収納効率が高く、軽量という点を有する。また、インフレイタブルフレームが多段になっているため収納形態から展開膜を選択することにより多数の展開形態へ変形する。これにより多自由度をもつインフレイタブルフレームを実現でき、救助現場などで対象状況に応じたロボットの適応を可能とする。

## 第2章 関連研究および考慮される課題

本章では、都市型災害に対する人命救助システム研究で最も期待されている「ロボットを利用した人命救助システム」に向けて研究・開発されているレスキューロボットおよび関連研究を踏まえた上での考慮される課題について述べる。

### 2.1 関連研究

レスキューロボットは大きく分類すると3種類に分けられる。「探査支援型ロボット」、「障害物除去支援型ロボット」、「情報収集型ロボット」である。これら3種類に分けられる理由は、全ての作業を実現するロボットを製作すると製造・メンテナンスコストが高価になってしまうことや実生活社会に普及させるということ考えた場合現実的ではないということが挙げられる。そこで現在は各作業に特化したロボットが多く研究・開発されている。また、実生活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助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もたせた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も研究されている。以下ではレスキューロボットの各作業についてとその目的化に開発されているレスキューロボットについて述べる [6][7][8]。

#### 2.1.1 探索支援型ロボット

探索支援型ロボットは瓦礫内外や崩壊しつつある建築物内外の人間や救助犬が容易に入りこめない場所にいる要救助者を発見することである。また、瓦礫内外や崩壊しつつある建築物内外での作業は崩落などの危険があり、犠牲者を増やす二次災害がおこる可能性が高い。加えて二次災害は被災者だけでなく救助者にとっても脅威となる。これはWTCへのテロ攻撃によって失われた犠牲者2,000人以上のうち200人が人命救助のためWTCエリアに踏み込んだ消防士たちであったことから明らかである。探索支援型ロボットは二次災害を防止し、最低限要救助者が存在しているか否かを確認できれば良いという点から最も救助現場で必要とされているロボットである。これら探索支援型ロボットは主に人間が踏み込めば崩れそうな場所、または狭く人間やロボットでは入りこめないなどという非常にデリケートな場所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重量が軽いことが要求され、狭い空間においてはセンサなどを通して要救助者がいることがいる

情報を収集できることが望まれている．これらような状況ではロボット自体の大きさの制限によってセンサの数や機能なども制限され，一つの活動について特化したロボットが有望である．瓦礫下の移動に関してはあらゆる体勢を可能とするヘビ型やミミズ型移動機構が採用され [9][10][11]，瓦礫上での移動に関しては容易な操縦性や高い悪路走破性，高速性を有するクローラ型やジャッキ機構を搭載した車輪型などの移動機構が採用されている [12][13][14]．瓦礫上の探索支援型ロボットの例として，北陸先端科学技術大学院大学の丁研究室が開発した JAI-Rover-I(JR-I) と呼ばれるジャッキ機構を搭載した車輪型移動ロボットを示す (図 2.1)．この JR，瓦礫などの障害物があった場合搭載されたジャッキを利用することにより，車体全体を持ち上げ被災地での移動を可能とするよう設計されている．

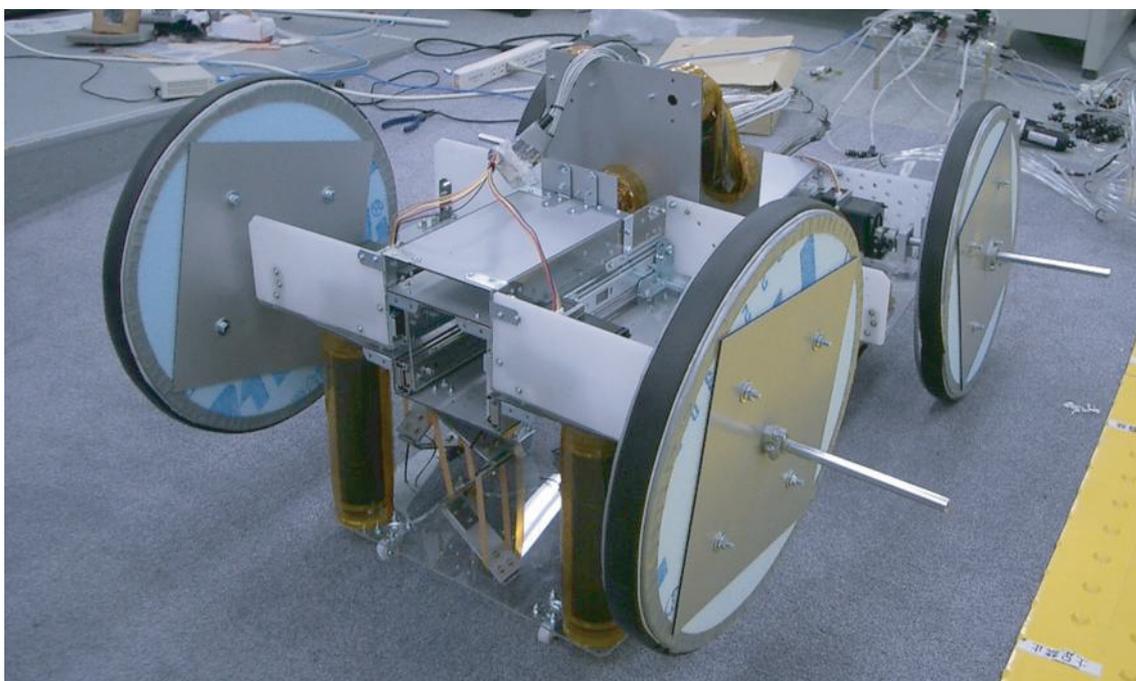


図 2.1: 探索支援型ロボット JAI-Rover-I

また，探索支援型ロボット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探索活動が頻繁に行われるため，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が多く，無線操縦よりも有線操縦が求められることが多いのが探索支援型ロボットの特徴である．

本研究では，瓦礫上での探索支援型に着目した．

## 2.1.2 障害物除去支援型ロボット

障害物除去支援型ロボットにおける作業は、主に発見した要救助者や被災者が存在すると考えられる地点まで経路を確保するための障害物除去である。これらの障害物は瓦礫やコンクリートブロックなどの重量物が主な対象物であり、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られていたものを改造を施し、比較的実用レベルに達しているものが多い。しかし、実際はそのロボットを被災地へと迅速に搬送する技術はいまだに確立されておらず、実際の現場で利用され成果を挙げた例はない。例えば阪神淡路大震災やWTCへのテロ攻撃の際もそうであったが、道路上が瓦礫などの障害物で封鎖され場合や瓦礫下に要救助者が存在する可能性がある場合はこれら大型救助ロボットは侵入さえ許可されなかった。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、要救助者の位置特定が困難であるにせよ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。障害物除去支援型ロボットの例として(株)テムザックが開発した障害物除去支援型ロボット援龍 T-52を示す(図 2.2)。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同時にそのエンジンによって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、車両をつかんで移動させることも可能な総重量 5[t] の超重量レスキューロボットである [15][16]。

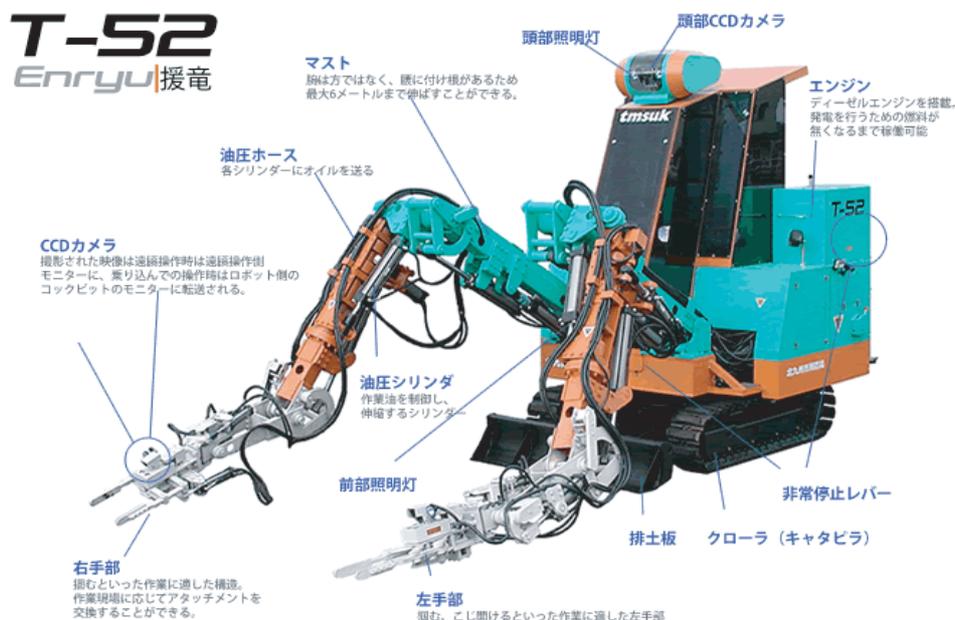


図 2.2: 障害物除去支援型ロボット 援龍 T-52

また，現在は重機のような大型除去支援ロボットのほかに救援者の脚部に空気圧ポンプを装着し瓦礫下の隙間にエアバック式ジャッキをいれることにより障害物を除去する機器の研究もされている [17] .

### 2.1.3 情報収集支援型ロボット

情報収集支援型ロボットの作業は，具体的に被災者がどこにいるの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，工場などからの危険物質流出の有無など，救助システム全体の行動計画を立てるために必要な情報が多い．また，情報収集の速さこそが救助活動を如何に効率よく展開し成功を収めるかを決定する．そのため被災時に迅速かつ広範囲に被災地の情報を収集できると考えられているヘリコプター型の情報収集支援型ロボットが多い．このヘリコプター型ロボットは，火山の噴火活動などの調査にも用いられており (図 2.3)，被災時以外のも用途が多くすでに実用レベルに達している [18][19] .



図 2.3: 情報収集支援型ロボット エアロボット

千葉大学の野波研究室ではヘリコプター上方から瓦礫などの障害物が降ってきた際に回避するためのアクロバット飛行制御についての研究がされている [20] . また，被災してから長期的または詳細な情報収集にあたるために気球型ロボットと RF-ID タグを利用しネットワークを形成する研究や Info-Balloon と呼ばれる風船に信号機の機能や情報処理機能を与え，学校や公共施設などに配置し被災時にはそれらを浮かべることにより移動することなく情報収集中継点として役割を果たすロボットについての研究もされている [21] .

## 2.2 考慮される課題

前節でも述べたように、レスキューロボットは主に3種類の作業に分けられる。しかし各種類依然として課題は多くあり、それらを解決しなければならない。小節2.1.1でも述べたように本研究では瓦礫上などの障害物上での探索支援型に着目した。瓦礫上などの障害物上での被災環境は非常に不安定で危険である。そこで求められるロボットは軽量なものが挙げられる。また、災害が発生した場合、被災地では救助機器などの物資は不足することが多いため他地域からそれらの救助機器を大量に搬送しなければならない。そのためには軽量はもちろん収納効率の良さが課題となる。しかし、現在軽量および収納効率の課題はロボット自体の縮小化・分解によるものが多く大量の搬送が困難である。また、実生活社会特に家庭環境にロボットが普及させ救助機能を付加させ製品を社会に浸透させる計画が進められているが、その点でも収納効率の良いものが求められている。このようなことからロボットの軽量化および収納効率は重要な問題であると考えられる。

また、災害地の場所や時期、建築物の形状などの被災環境は一様ではないため、救助作業を行う際には状況ごとに適応した形状へとロボットが変形する必要があると考えられており、被災現場で破損した際には簡単な修復で救助活動に戻れることが必要であると考えられる。

加えて被災時の度、新たに開発されたセンサユニットを採用して探索活動が頻繁に行われるため、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考えられる。

また、被災現場の環境には瓦礫などの崩落などの他にガスや薬品など危険物質が散乱していることが多く、ロボットの故障による危険物資への引火などの二次災害の発生は避けなければならないと考えられている。そこでそのような二次災害の防止の観点からロボットに使われる動力に関しても被災者、救援者双方が安心して作業できるものが必要であると考えられる。

## 第3章 展開構造物

展開構造物とは、展開機構を有する構造物が自身の形態を変形させ機能する構造物のことである。この形態変形は可逆的なもののほかに、展開を行ったら形態を凝縮させ構造物として永続的に用いる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および本研究で開発した展開状態から収縮状態へと復元可能なインフレーションアクチュエータ FSB(Film-Surfaced Bellows) 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、折りたたみ傘や伸縮機構を有する梯子、膜面内に空気を充填することにより膨張展開する風船や浮き輪、インフレーションバルーンなどが挙げられる(図 3.1)[22][23][24][25]。これらの展開構造物は、展開前の容積が展開後の容積に比べ非常に小さいという特徴をもつ。この特徴を利用することにより折りたたみ傘のように必要なときには展開し構造物を機能させ、不要なときには折りたたんで携帯輸送や収納スペースのコンパクトを実現することができる[26]。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物の輸送などの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。その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ができるため、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。

このように展開構造物は、高い収納効率をも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、展開後を含めた構造設計が必要となり、従来の単体構造物設計よりも困難である。また、大きな問題として展開機構における展開不良の問題がありヒンジやレール部のたわみなどによる精度不良や、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などが挙げられる。

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ション構造物を主として扱う。インフレーション構造物は、先に例に挙げた浮き輪やインフレーションバルーンのように機械式展開機構をもたないため、フレームのたわみなど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動するためモータなどのアク

チュエータを別に必要とするが、インフレーター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を有する。

## 3.2 インフレーターブル構造物の特徴

インフレーターブル構造物とは、膜面内に空気などの気体を充填し内圧を発生させ膜面に張力がかかることにより膨張展開し機能する構造物のことである。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比べヒンジの製作精度や使用回数による磨耗、金属疲労などによる展開不良が起こりにくい。しかしその反面、膜面を使用しているため膜面が破損してしまうと展開に剛性が弱くなったり場合によっては機能を果たさないという短所が挙げられる。また、インフレーターブル構造物は展開前と展開後の二状態時剛性が高く、展開過程では不安定状態であるので剛性が小さく形状が一意に定まらないという特徴がある。インフレーターブル構造物の例として図 3.2 に米ジェット推進研究所 (Jet Propulsion Laboratory: JPL) で開発されたインフレーターブルローバー、図 3.3 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クを示す。インフレーターブルローバーは骨組みとタイヤで造られており、人の肩の高さほどある大型インフレーターブルタイヤ内に送受信ユニットなどが組み込まれたおり水上移動も可能な 3 輪ローバーである [27]。

## 3.3 本研究にて開発したインフレーターブル構造物

本研究で開発したインフレーターブルアクチュエータ FSB (Film Surfaced Bellows) モデルを図 3.3 ,3.5 に示す。本研究では 4 種類の FSB を作成し、直径は 30[mm] で全種類共通、展開時の各全長が 450,700,900,1600[mm]、収縮時は各全長 400,500,550,600[mm] となる。本アクチュエータは従来の油空圧シリンダと比べて 3~4 倍のストローク幅をもち、展開前と展開後の二状態が剛性が高く展開過程は剛性が小さいという特徴をもつ。

FSB の構成は両端部パーツと収縮率の高いジャバラ、それらを被う寸法安定性の高い膜面によって成り立つ。主にジャバラは収縮時に機能を発揮し、膜面は展開時に機能を発揮する。膜面にはポリイミドフィルムを適用しており、フィルムの厚さは 0.025[mm]、耐熱性や絶縁性、強度に優れ寸法安定性が高い。このため本アクチュエータに用いている。本 FSB の使用圧力は 0.15[MPa] であり、0.2[MPa] 付近の圧力を使用すると破裂する。本研究では円筒膜面端部と膜面側面部に接着剤を使用し固定している。端部には接着部が非常に強いエキポシ系を使用し、側面部は展開・収縮した際の伸縮を考慮しシリコン系接着剤を使用した。しかし、現在の作製方法では各接着量の調整が難しく各接着剤の薄い点 (特にエキポシ系) が発生した場合そこから破裂するといった問題がある。

本 FSB の仕様を表 3.1 に示す [28]。本 FSB の各質量は 10,20,25,35[g] と軽量であるが、出力は展開時で 1,060[N](0.15[MPa] 使用時)、収縮時で 353[N](0.05[MPa]) と大きい値であ



(a) 折りたたみ傘



(b) 梯子



(c) インフレーターカヌー



(d) 飛行船

図 3.1: 展開構造物の例



図 3.2: インフレーターローバー

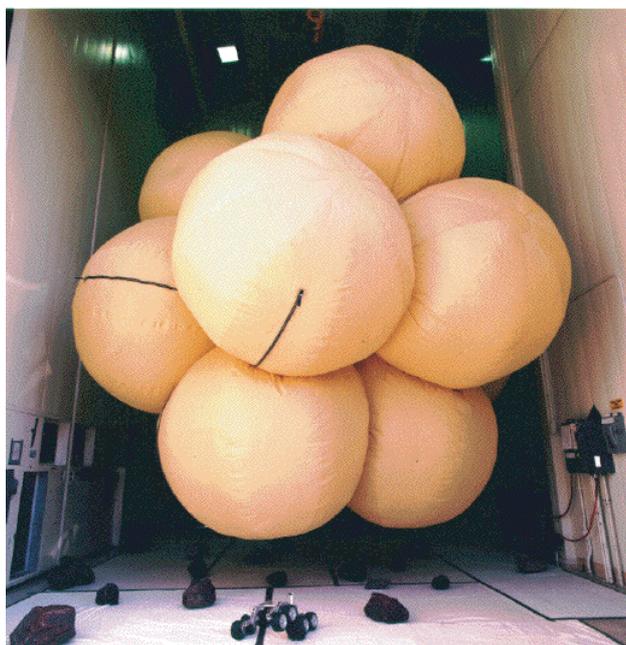
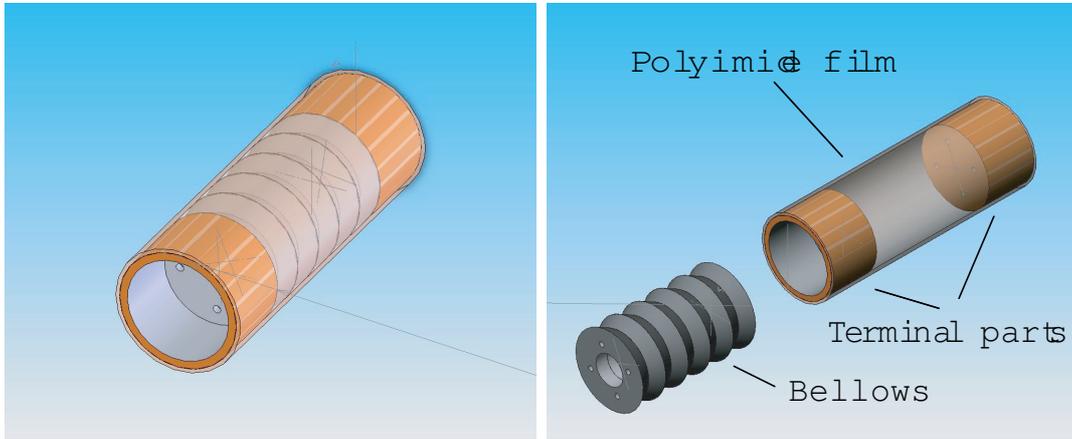


図 3.3: 火星探査機 着陸用エアバック



(a) 3D モデル

(b) 分解図

図 3.4: FSB(Film Surfaced Bellows) モデル:drawn by Solid Works

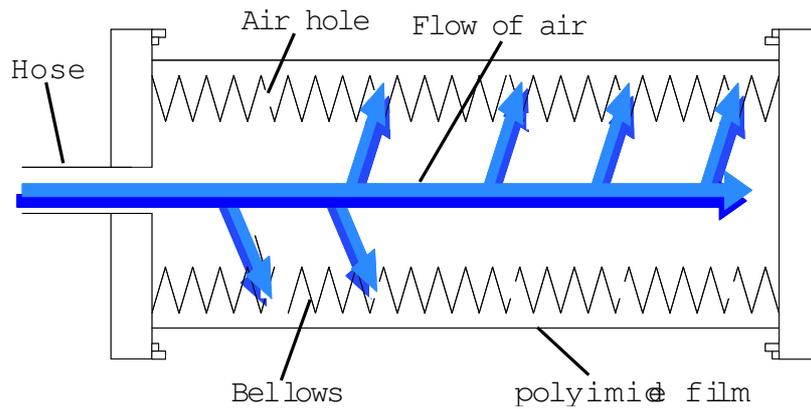


図 3.5: FSB 断面図

る(式 3.1,3.2) . しかし , 気体を FSB まで送る際のホースによって圧力は減衰するため実際の値は小さいと考えられる . 加えて , 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などのアクチュエータとは違い , 展開出力と収縮出力に違いが発生する .

表 3.1: FSB(Film Surfaced Bellows) 仕様

各全長 (展開時)	450,700,900,1600[mm]
各全長 (収縮時)	400,500,550,600[mm]
外形寸法	$\phi$ 30[mm]
出力 (展開時:膜面内圧 0.15[MPa])	1060[N]
出力 (収縮時:膜面内圧 0.05[MPa])	353[N]
仕様圧力	0.15[MPa]
限界圧力	0.2[MPa]
各質量	10,20,25,35[g]

$$S = \frac{\pi}{4} D^2 \quad (3.1)$$

$$F = SP \quad (3.2)$$

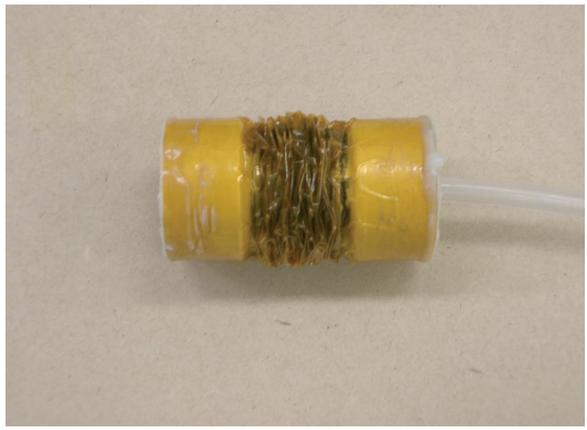
(  $S$  : 断面積 ,  $D$  : 外形寸法 ,  $P$  : 圧力 ,  $F$  : 力)

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 , ジャバラの各所に空気抜きのための穴が開いており . その穴を使用しジャバラ内を通して気体を膜面内に送吸する .

図 3.3 に実際に作成した FSB を示す .



(a) 正面



(b) 側面 (展開前)



(c) 側面 (展開過程)



(d) 側面 (展開後)

圖 3.6: FSB(Film Surfaced Bellows):实物写真

## 第4章 姿勢制御機構および制御方法の提案

2章で述べた考慮点を踏まえ、ロボットによる不安定な障害物上で行う作業は困難である。よって姿勢を安定させ作業を行う必要がある。本章では、FSBを適用した提案する姿勢制御機構および制御法について述べる。

### 4.1 姿勢制御機構

本研究で提案する機構は、瓦礫などの傾斜不整地に移動機構をもったロボットが乗り上げた際に、作業を行う面(末端部)を水平に保ちまた360度どの位置が乗り上げた場合でも対応できるよう土台部から末端部までを並列につなげる「パラレルメカニズム」を適用した。図4.1が一般的なパラレルメカニズム例であり各リンクの幅によって末端部に角度を与えられる。土台部から末端部までを直列的につなげた機構「シリアルメカニズム」と比較すると以下の事柄が挙げられる [29][30]。

- 多自由度の位置決め機構を小規模な構造で実現可能
- 並列な構造のため最終的な位置や姿勢の誤差は平均化され、誤差は小さい
- 負荷が並列的に分散され、剛性が高い
- 可動部分の重量を小さくでき、高速可動も可能
- 機構全体の大きさに比べ動作範囲が広く取れない

などの特徴が挙げられる。そこで本研究ではFSBによるパラレルメカニズム適用したmoduleの再現を行う。

またその際、本研究室で開発したFSBを用いた(図4.2)を参考にした。このジャッキは展開時のステップ幅長い場合展開過程において非線形となり制御が困難であるため、側面に拘束具を適用している。そのため環境に合わせた柔軟な形状の対応が困難であり、展開前から展開後のストローク幅が長い場合高速展開収縮が困難などという問題がある。

そこで本研究ではFSB一本一本の展開幅を短くし多段にすることにより高速展開を可能にし、各FSBの展開幅を調節することにより末端部に任意の角度を与えることができ

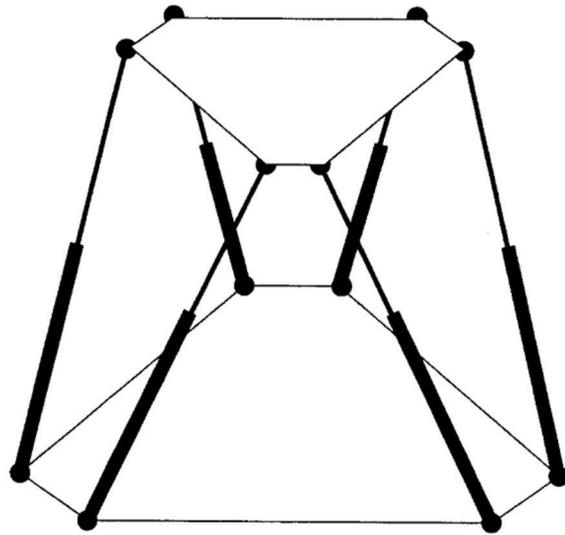


図 4.1: パラレルメカニズム例

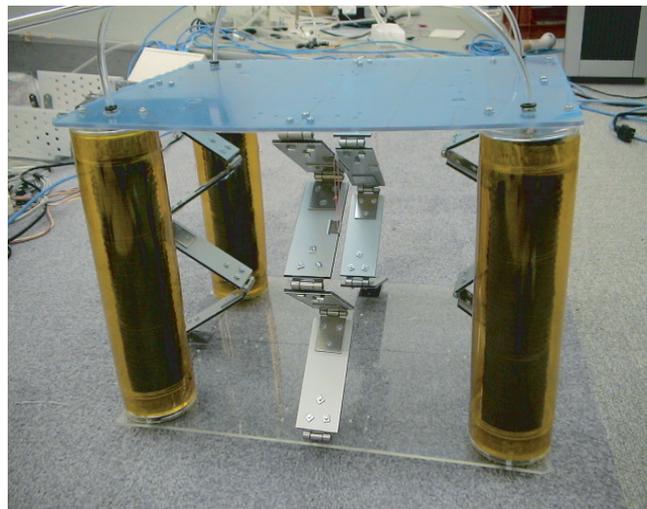


図 4.2: Pneumatic Jack

る．加えてFSBを多段にすることにより，展開過程の時間が短縮でき非線形領域が短縮されるため，拘束機構を少なくでき傾斜不整地に対する形状の変形など状況に応じた柔軟な適応を可能にする．

また，パラレルメカニズムは土台部から末端部に繋がるリンク数によって module の形状が決まる．しかし，リンク数が多くなればFSBの数も多くなってしまい稼働させるための出力も大きくなってしまうため，最適なリンク数を決める必要がある．加えて本研究では末端部を水平に保ち，また360度どの位置が乗り上げても水平維持が可能であるよう3自由度を得る必要がある．そこで土台部と末端部とを繋ぐリンク数を4とし，土台部と末端部の形状を等しい面積の正方形とした．形状を正方形とした理由は，リンクとリンクとを繋ぐ一辺から各FSBの展開幅を決めたい角度を末端部に与えることができ，一辺での各FSBの展開幅が決まれば残りの各三辺も等しい長さであるので同様のFSBの展開幅により末端部に等しい角度が与えられる．つまりリンクとリンクとを繋ぐ土台部および末端部の正方形の一辺を一意で決めれば，各FSBの展開幅も決まりたい末端部の角度を360°どの位置からでも与えることができる．

本FSB-moduleの設計手順を図4.3に示す．本姿勢制御機構は土台部と末端部の上面を同等の面積である一辺が $l$ の正方形とし，それらを繋ぐFSBの柱2本以上を対で展開させることによって上面に傾斜角度を与えるものである．また，このとき正方形の一辺 $l$ から各FSBの展開幅 $h'$ を求める．そこで最大傾斜を30°と設定し[31]，360°どの位置が乗り上げても上面を水平に保つよう各FSBの展開幅 $h'$ を求める．図4.3(a)に示すように上面の正方形の一辺を $l$ とし，DCEを $\theta$ とする．一辺が $l$ の正方形であるので $\theta$ は最大 $\frac{\pi}{4}$ である．このとき辺 $d, d'$ は式4.1,4.2で表される．

$$d = \frac{l}{\cos \theta} \quad (4.1)$$

$$d' = \frac{l}{\cos(\frac{\pi}{4} - \theta)} \quad (4.2)$$

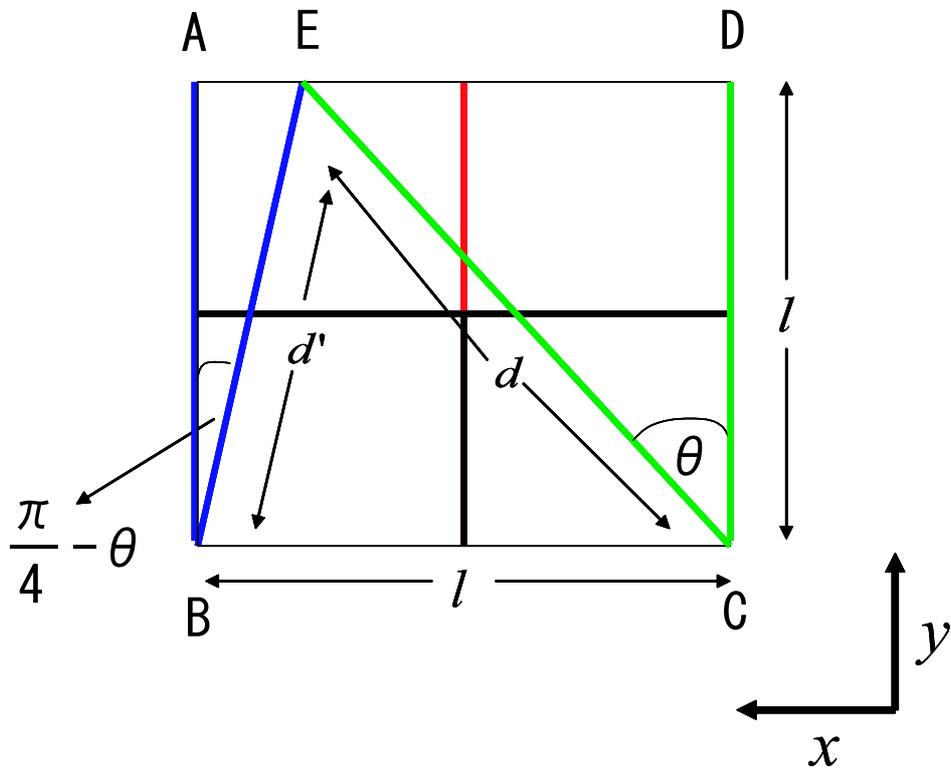
$$\left( 0 \quad \theta \quad \frac{\pi}{4} \right)$$

ここで設定傾斜の角度を $\phi$ とし，得たいFSBの展開幅 $h'$ は式4.3となる．

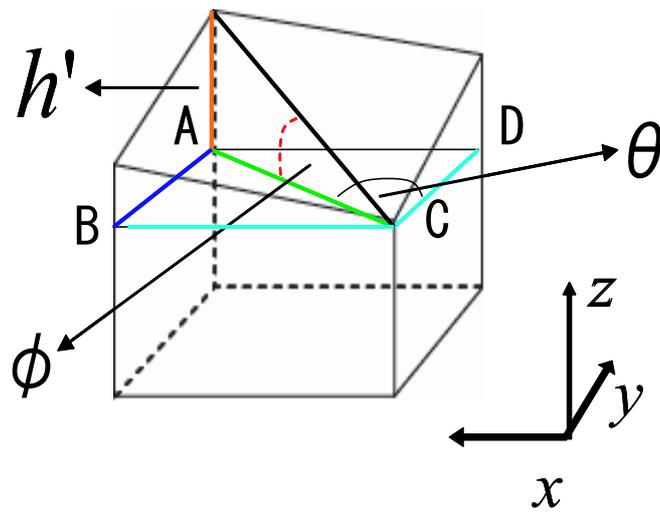
$$\begin{aligned} h' &= d \tan \phi \\ &= \frac{l}{\cos \theta} \tan \phi \quad \left( 0 \quad \phi \quad \frac{\pi}{6} \right) \end{aligned} \quad (4.3)$$

また，対で動作するFSBの柱は $d'$ を $d$ に代入させればよい．以上より各FSBの展開幅 $h'$ を得，設定した傾斜角度を得る．

図4.4に提案するFSB-moduleモデルを示す．



(a) 上面



(b) 全体モデル

図 4.3: 設計定義図

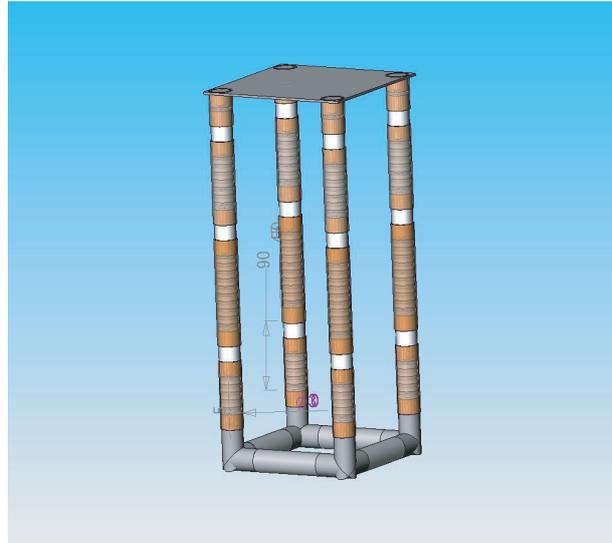


図 4.4: FSB-module モデル

## 4.2 制御方法

本研究で提案する FSB-module は FSB の膜面内に気体を充填することで膨張展開する。また各 FSB のストローク幅が異なり、それらの組み合わせによって得たい傾斜角度を得て様々な対象状況に柔軟に対応する。そのため瞬時に展開および収縮の判断をし、対象状況に対応する FSB に気体を充填しなければならない。

そこで本研究では角度センサを用い、そのときの FSB-module の角度を得てその傾斜角度に対応した FSB を展開させる判断をする。角度センサからの信号はマイクロコンピュータを通し制御弁に送信され、弁の開口によりホースに気体を送入され FSB が展開する。展開膜への気体の充填における弁の開閉操作についての制御を電磁弁を用いることによって行う。開口信号が送信されれば弁が開き気体が充填される電磁弁を用いることにより、瞬時に展開することが可能である。また、開口信号の送信されていない状態のとき、FSB は常に収縮状態である。

このような制御方法により様々な対象状況に柔軟に応じた変形操作が可能となる。

## 第5章 開発したFSB-module構成

本章では，前章で提案した姿勢制御機構および制御方法により本研究で作製した FSB-module 構成を示す．

### 5.1 多段FSBフレーム

前章より求めた式から傾斜角  $\phi$  を  $30^\circ$  とし適当な一辺  $l$  を設定し，そのときの各展開幅  $h'$  の理論値を図 5.1 に示す．本研究では図 5.1 を参考に  $l=200[\text{mm}]$  の多段 FSB フレームを例の一つとして作製した．また，正方形の各一辺の角度  $\theta$  を  $0, 15, 22.5, 30, 45^\circ$  計 5 段階とし，各角  $\theta$  で傾斜角  $\phi=30^\circ$  が得られるよう，FSB の柱を実現可能最低限段数である 4 段構成とした．

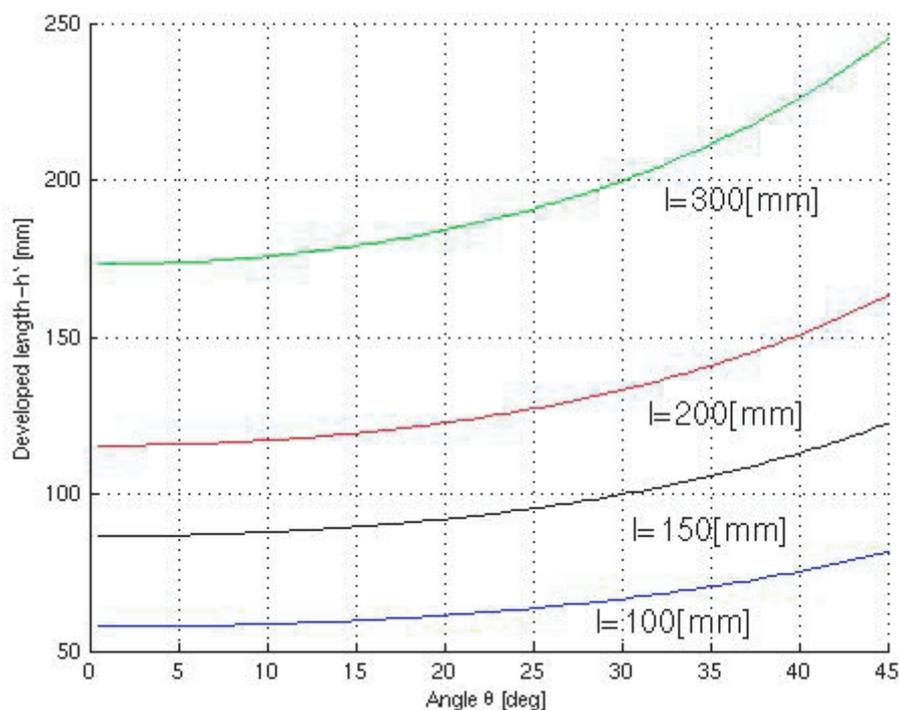


図 5.1: 各一辺  $l$  での展開幅  $h'$

図 5.2 に本研究で開発した FSB-module を示す．本 module の各 FSB 構成は下の段から展開後 900,1600,700,450[mm] である．各 FSB の配置は予備動作確認を行い，振動や転倒などがなく柱として展開および収縮がより安定して行える組み合わせとした．全長は展開前 225[mm](L) × 225[mm](W) × 320[mm](H)，展開後は高さ (H) が 475[mm] となる．また，全質量は 1,020[g] である．本 module の展開前での出力は，FSB の使用圧力より 0.05[MPa] 時に 5,648[N] であるが，気体 (空気) を送る際のホースなどによって圧力は減衰するため実際は低い．また，土台部は軽量であることを考慮し合成樹脂を適用し，末端部の上面は軽量かつ剛性が高い点からアルミ合板を適用した．加えて上面は様々なアタッチメントを装備することを考慮し平坦である．

本研究における各 FSB は展開前と展開後の剛性は高いが，展開過程においては膜面内圧が均等ではなく張力が膜面に一様に発生せず非線形であるため，形状が一意に求められない．よって本 FSB-module は展開前と展開後の二状態時で得られる角度についてのみ考えた．

また，FSB につながるホースを全て下向きに接続することにより各 FSB にかかるホースの力を下向きにし，展開過程時にかかる力の方向を一定にした．これによって展開前後の状態になる際に安定して変形できる．

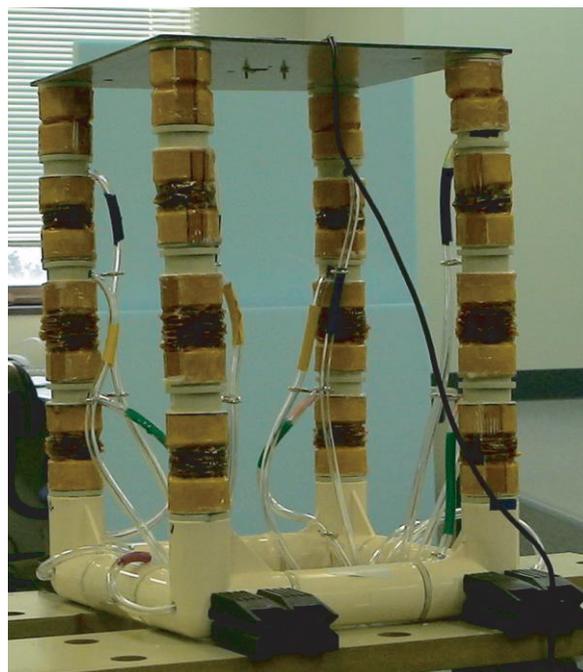


図 5.2: 本研究室で開発した FSB-module( $l=200$ [mm])

## 5.2 制御システム

本 FSB-module システムは，外乱が入ってきた場合瞬時に最適な FSB の展開および収縮を判断し，様々な対象状況に柔軟に対応する．また，外乱の判断として角度センサを用い，瞬時に各 FSB の展開・収縮を可能とするために電磁弁を用いる．

図 5.3,5.4 に本 FSB-module システムの制御システムを示す．本研究で用いる角度センサは FSB-module 本体に取り付け，傾斜および回転の角度 (姿勢角度) を Z-Y-X オイラー角で出力する (図 5.5)．角度センサは圧電振動センサ，加速度センサ，地磁気センサの三つからなり，内蔵されている各センサのロール角，ピッチ角，ヨー角の 3 軸出力を比較，補正することで高精度な姿勢角度検出を実現している．またこのとき，角度センサは各角度の出力を A/D 変換する．角度センサからは USB ケーブルにより PC へと各角度の出力がデジタル信号として送信され，PC 側では信号に合わせた最適な FSB の状態を判断する．また，このとき自動制御の他にキーボードなどのインターフェイスによる FSB の展開・収縮が選択できるよう，角度センサの各出力の表示，各 FSB の展開および収縮の状態が操作者に認識できるよう PC の画面にそれらの情報が表示される．図 5.6 に作製した PC の画面を示す．画面上にある Alpha, Beta, Gamma はヨー角，ピッチ角，ロール角であり，本研究では主にロール角，ピッチ角で各 FSB の展開・収縮の判断をしている．また，画面上の a1 ~ d4 は各 FSB の適当な名称であり，数字の小さいものから下段となる．各 FSB の展開および収縮の表示は，展開状態であれば 1 と出力し収縮状態であれば 0 と出力し，PC の画面上に表示される．図 5.6 の例では b2,c2,c4 の FSB が展開しており，他の各 FSB は収縮状態である．

PC からは RS-232C ケーブルを用いシリアル通信を行うことによって，マイクロコンピュータに開閉させる各電磁弁の信号が送信される．このときの信号は，角度センサの情報を基に計算した各 FSB の展開および収縮の情報をデジタル信号として送信する．マイクロコンピュータは受け取った信号を各出力ポートに振り分け出力する．出力された信号は Photo-Mos-Relay を介して各電磁弁の ON/OFF 信号となる．図 5.7,5.7 にマイクロコンピュータおよび電磁弁の回路構成を示す．電磁弁が ON 信号時ではコンプレッサより空気が送出され FSB は展開し，OFF 信号時では空気が送入され収縮する．電磁弁からの空気の送吸により FSB-module は最適な状態の変形を行う．

このような制御システムにより本 FSB-module の姿勢制御を自動および手動で行う．

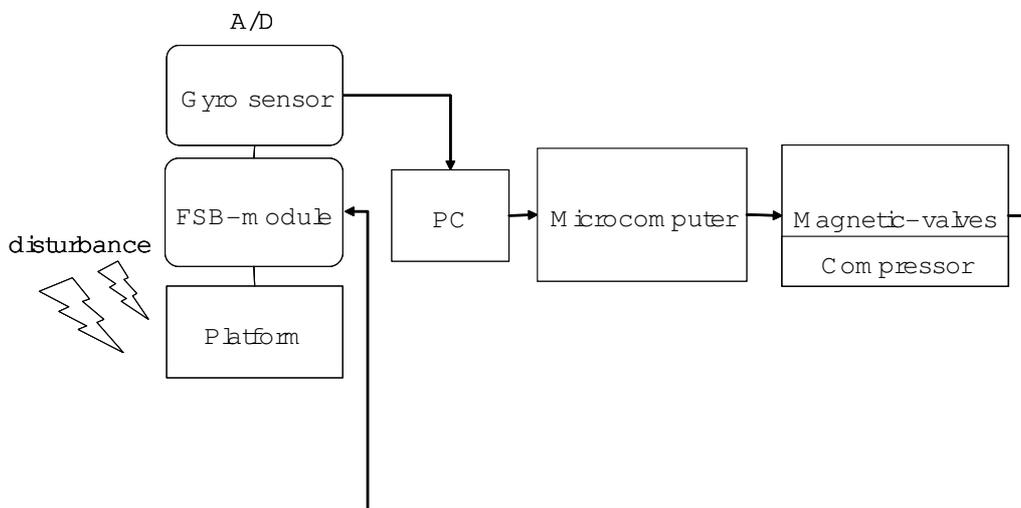


図 5.3: フィードバック制御システム

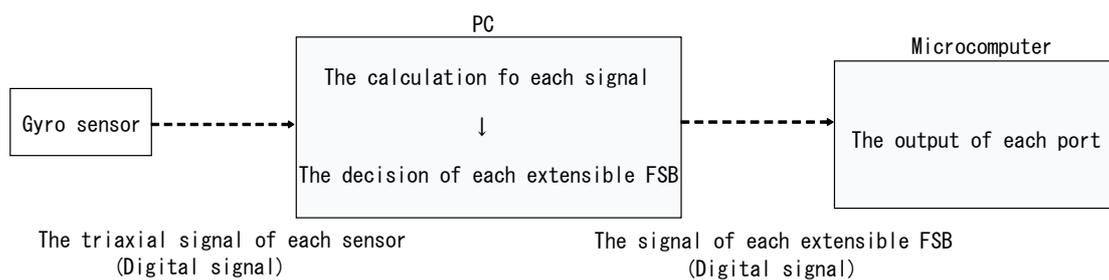


図 5.4: 各信号処理

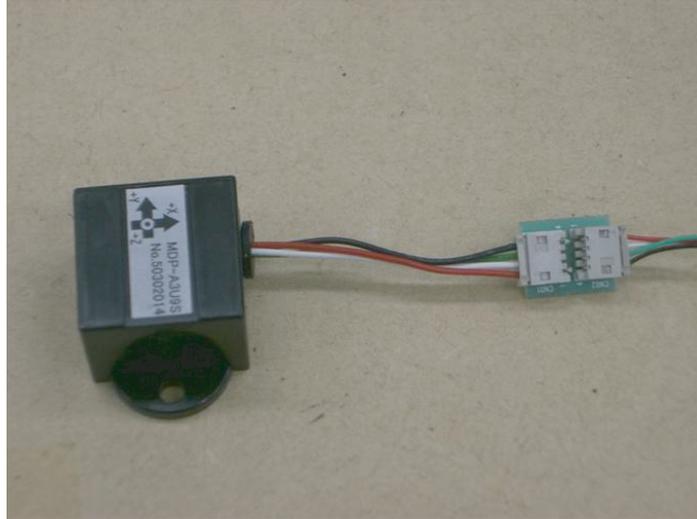


図 5.5: 角度センサ

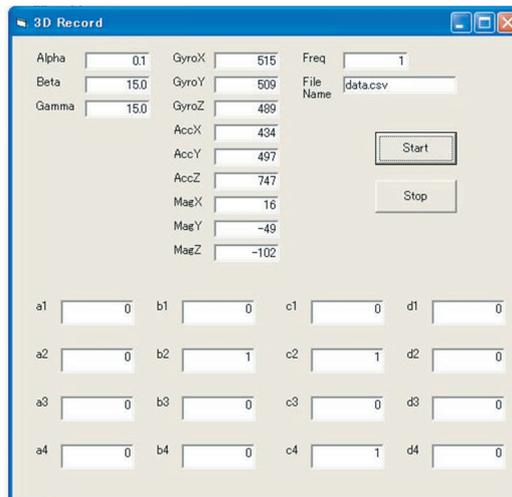


図 5.6: PC への表示例

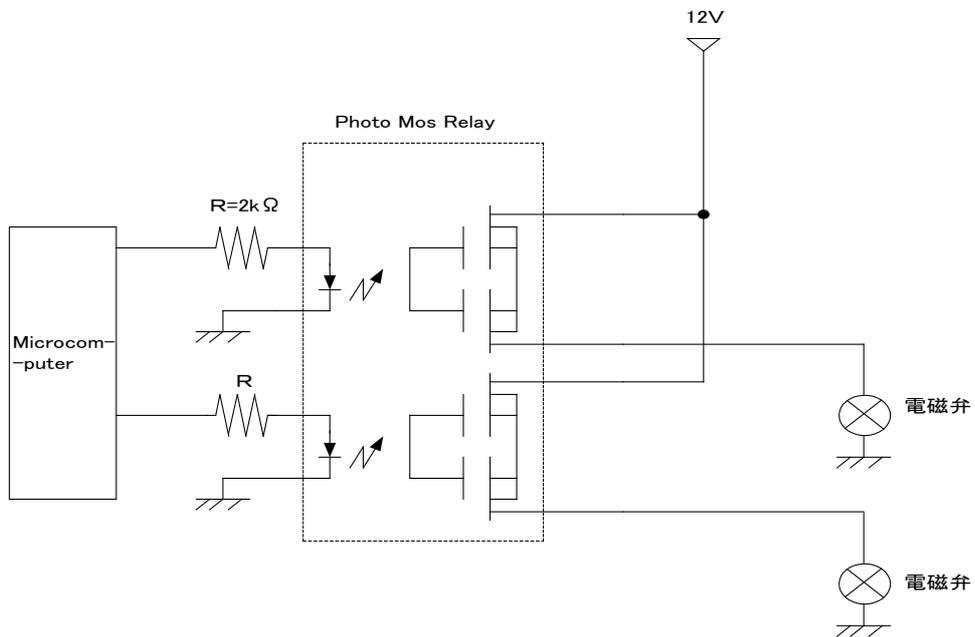


图 5.7: 回路構成例

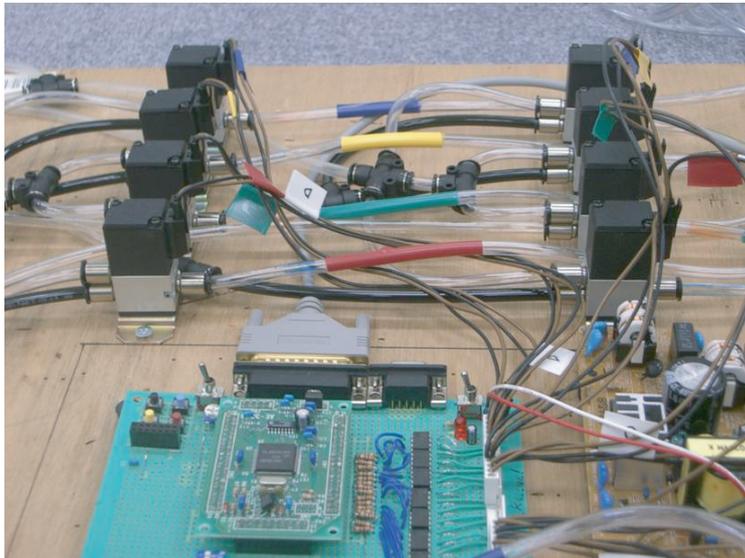


图 5.8: 回路構成:实物写真

## 第6章 評価実験

本章では、本研究で開発した FSB-module の各評価実験について述べる。実験内容は、各 FSB フレームの展開時および収縮時における動作速度の評価や 4 章で述べた理論式から導きだした数値による評価、上に積載物を取り付けての動作評価および角度評価、移動機構を備えたロボットに本 FSB-module を搭載しての動作確認などである。

### 6.1 予備実験

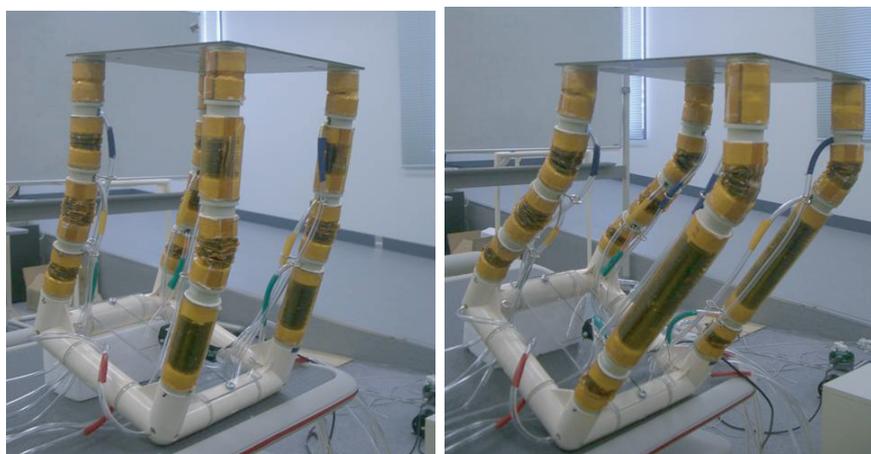
実験方法は、本 FSB-module に対し任意に角度を与え展開時および収縮時において振動などがなく安定して変形を行えるかや、そのときの動作速度について評価を行った。図 6.1 に展開および収縮実験の例を示す。傾斜角  $30^\circ$  の斜面を造り各 FSB フレームの展開および収縮時での安定性の評価、そのときの動作速度の評価を行った。展開時および収縮時どちらにおいても変形の際に生じる力によって振動の発生や転倒などはなく、変形後の形状の歪みや FSB フレームの破損などはなかった。また動作速度は、展開時では約  $0.5 \sim 1[\text{sec}]$ 、収縮時は剛性が十分に高く形状が安定するまでで最大  $5[\text{sec}]$  の時間を要した。加えて収納効率は式 6.1 より  $48[\%]$  となる。

$$\text{収納効率} = \frac{\text{展開前の容積}}{\text{展開後の容積}} \quad (6.1)$$

### 6.2 姿勢実験

図 5.1 より求めた土台部および末端部の各一辺の角  $\theta=0,15,22.5,30,45^\circ$  各点に応じた展開幅  $h'$  によって設定傾斜角  $\phi=30^\circ$  が得られるか確認を行った。

評価結果を表 6.1 に示す。標本数はすべて 20、角度センサから得られた傾斜角  $\phi$  の最大値と最小値との差は、すべての組み合わせにおいて  $1^\circ$  未満であった。また、計測平均傾斜角  $\phi$  は設定傾斜角  $\phi$  とほぼ等しい結果が得られた。



(a) 傾斜角 13 °

(b) 傾斜角 30 °

図 6.1: 展開・収縮実験例

表 6.1: 実験結果

	$\theta=0$ および 45[deg]	$\theta=22.5$ [deg]	$\theta=15$ および 30[deg]
組み合わせ数	4	4	8
標本数	20	20	20
計測平均傾斜角 $\phi$ [deg]	29.36	30.14	29.57

### 6.3 角度実験

前節では理論傾斜角  $\phi=30^\circ$  の確認を行ったが，式 4.3 より式 6.2 を求め

$$\phi = \arctan\left(\frac{h' \cos \theta}{l}\right) \quad (6.2)$$

$$\left( \theta = \frac{\pi}{8}, l = 200 \right)$$

$h'$  に各 FSB を組み合わせて得られる展開幅を代入し各理論傾斜角  $\phi$  を求め，実際に計測した各計測平均傾斜角  $\phi$  との比較を行った．また，このとき実環境を考慮し末端部上面に質量 100,200[g] の積載物を載せ同様に計測平均傾斜角  $\phi$  を計測した．積載物の質量は被災現場で使用されている小型カメラなどを参考にした．

実験結果を図 6.2 に示す．標本数は 20~24，角度センサから得られた傾斜角  $\phi$  の最大値と最小値との差は，最大 2.2°であったが大半は 1°未満に収まった．また，計測平均傾斜角  $\phi$  は理論傾斜角  $\phi$  とほぼ等しい結果が得られ，積載物を載せてもほぼ等しい値となった．

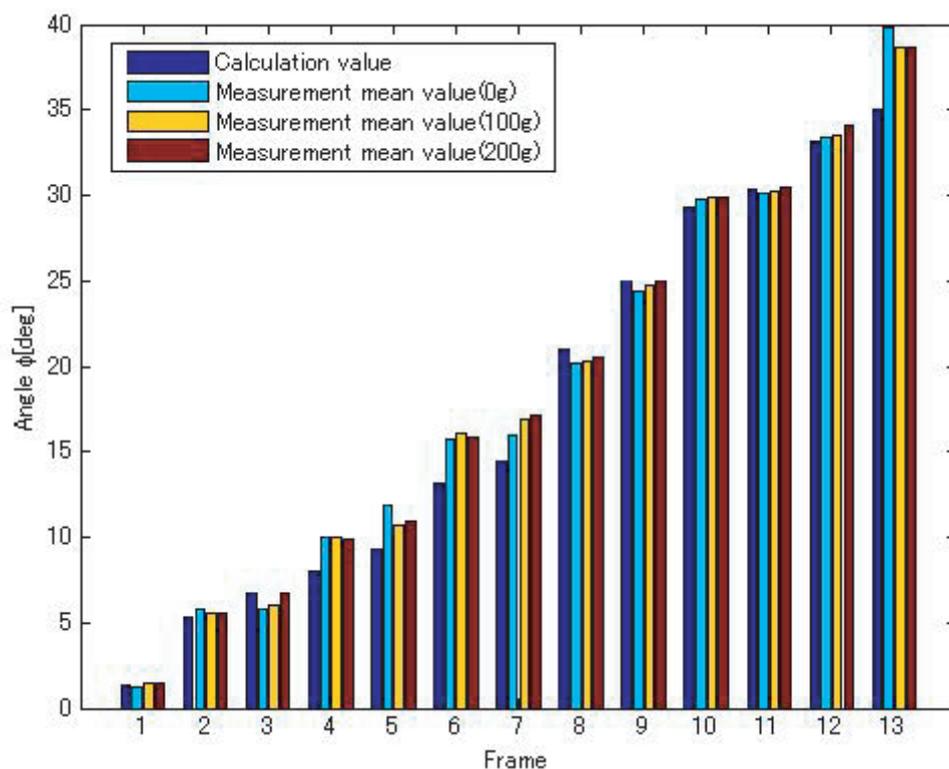


図 6.2: 計測平均傾斜角  $\phi$

## 6.4 動作実験

実際のアプリケーションを考慮し、移動機構を備えた Pioneer3(Active Media 社) に FSB-module を搭載し FSB-module の末端部には小型カメラ [83g] を取り付け、そのときの動作確認を行った。

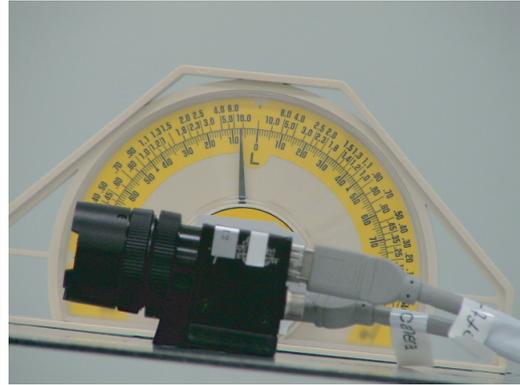
動作確認では、傾斜角  $6^\circ$  の傾斜を Pioneer3 に移動させ、移動時における FSB-module の展開および収縮時の姿勢状態の安定性および小型カメラからの映像について評価を行った。加えて末端部が外乱に対して水平維持を保てるか傾斜計を末端部に取り付け確認を行った。実験環境を図 6.3 に、傾斜に対応した FSB を展開せずに傾斜を登った際の傾斜計とそのときの小型カメラの画像を図 6.4 に、傾斜移動時における FSB-module の動作実験例を図 6.4 に示す。実験例では、外乱である傾斜に対応した FSB が展開し末端部はほぼ水平に保たれ、小型カメラからも水平である映像が確認された。また、移動時における展開および収縮時において転倒や変形後の状態の不安定、歪みなどの問題は発生しなかった。



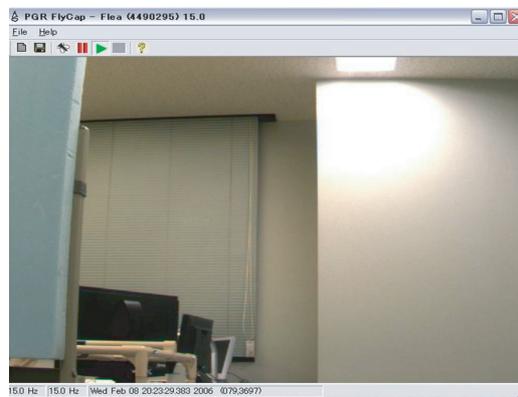
図 6.3: 実験環境 (傾斜  $6^\circ$ )



(a) 移動後 (傾斜 6 °)



(b) 傾斜計 (傾斜 6 °)



(c) 小型カメラ映像 (傾斜 6 °)

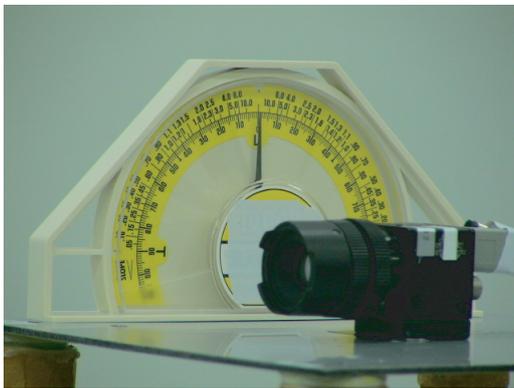
図 6.4: FSB-module 不動作



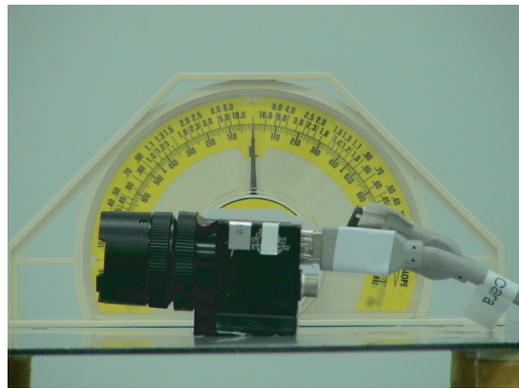
(a) 移動前 (傾斜 0 °)



(b) 移動後 (傾斜 6 °)



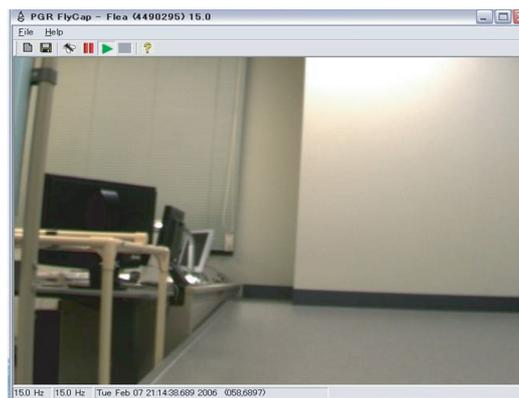
(c) 傾斜計 (傾斜 0 °)



(d) 傾斜計 (傾斜 6 °)



(e) 小型カメラ映像 (傾斜 0 °)



(f) 小型カメラ映像 (傾斜 6 °)

図 6.5: 移動時における動作実験例

## 第7章 考察および結論

本章では，前章で述べた実験結果の考察および本研究における結論を述べる．

### 7.1 考察

本節では各実験結果の考察を述べる．

#### 7.1.1 予備実験評価

前章でも述べたが，本 FSB-module に対し任意に角度を与え展開時および収縮時における安定性，そのときの動作速度の確認を行った．

本 FSB-module の安定性については，FSB フレームの展開時および収縮時によって生じる力によって振動の発生や転倒，変形後の形状の歪みや FSB フレームの破損などはなく特に問題はないと考える．しかし，FSB が一定の剛性を持つまでに展開に要する速度に比べ収縮に要する速度は遅い．そのため角度センサの反応速度を速く設定すると module 本体が姿勢を維持できなくなる可能性がある．よって角度センサを反応させる間隔を最大収縮時間を基準とし 5[sec] と設定しなければならいが，本実験では特に問題は見当たらなかった．しかし，最小収縮時間の確認を行うと約 1[sec] であったので FSB の展開幅の調整次第でセンサの反応速度は速くできると考える．

#### 7.1.2 姿勢評価

表 6.1 に示すように設定傾斜角  $\phi$  と計測平均傾斜角  $\phi$  との誤差は小さかった．加えて，角度センサから得られた傾斜角  $\phi$  の最大値と最小値との差，標本数を考慮に標準偏差からの値などから設定角と計測角との誤差に問題はないと考えられる．また，設定角と計測角との誤差が生じた要因として，各 FSB を作製する際に全長に多少の誤差が生じたことや角度センサの性能によるものだと考えられる．以上を踏まえ本実験で得られた結果より式 4.3 の有用性が立証されたと考えられる．

### 7.1.3 角度評価

実験結果図 6.2 に示すように式 6.3 によって導きだした理論傾斜角  $\phi$  と計測平均傾斜角  $\phi$  , 各積載物を取り付け際の計測平均傾斜角  $\phi$  との誤差は小さかった。

下段の 1,2 段を展開させたとき他の展開形態と比較し理論値と計測値との誤差が大きくなったのは, FSB-module の重心が高くなり下段に加わる力が大きくなったためだと考える。

全体的を通しての理論傾斜角  $\phi$  と計測平均傾斜角  $\phi$  との誤差は前小節での述べたとおりだが, 各積載物を取り付けた際の計測平均傾斜角とにあまり誤差が生じなかった理由として本 FSB-module の特徴が挙げられる。本 FSB-module は各 FSB フレームによって土台部から末端部までが並列に繋がられている。よって展開する際に FSB フレーム自身は真上に伸び上がろうとし上向きの力が発生する。残りの FSB フレームは吸入用のコンプレッサにより下向きの力が発生するため各フレームの変形の際に生じる歪みが小さい。このため FSB-module の末端部に加重に耐えられる積載物を取り付けても誤差はあまり生じず, 誤差が大きくなる前に FSB 自身が破損してしまう。よって加重に耐えられる積載物であればほぼ理論値と等しい値となると考える。

また, 計測していない傾斜角度を得たい場合には, 本結果の角度の差し引きで得られる。例として  $20^\circ, 25^\circ$  は実験結果を基に角度の減算によって計測した。よって各 FSB の組み合わせによって得られる展開幅から実現したい傾斜角度は得られると考える。加えて FSB の展開前後の剛性を比較すると展開前の剛性が高いため, 得たい角度を実現する場合には基本的に FSB を収縮し, 実現が困難であるならば展開するという選択をする必要があると考える。

### 7.1.4 動作評価

移動機構物に FSB-module を搭載し, そのときの動作確認を行った。

移動機構物に搭載しての傾斜角  $6^\circ$  を登る動作確認において FSB-module の末端部は, 傾斜計からの確認により水平に保たれ, 発進地点である場所に戻った際展開前の状態に戻ることができた。展開および収縮に要する時間にも問題はなく, 展開・収縮時に転倒や破損, 変形後の形状の歪みなどないため本 FSB-module の機構に問題はないと考える。また, 小型カメラの映像では FSB の展開時および縮小時に多少はブレが発生するがその後は水平に保たれた映像が確認され問題はないと考える。しかし, FSB につながるホースによって移動範囲が拘束されてしまうため移動時にホースの長さの調節を行う必要があると考える。

## 7.2 結論

本研究における多段インフレータブルフレームを有する姿勢制御ユニットの製作をし、各実験によって以下の結論を得た。

- FSB を module のフレーム部材に適用することにより、収納効率 48[%] を可能とした。
- FSB を用いることにより第 4 章、6 章で示した理論式の有用性を示した。
- 展開前および展開後の FSB は、module の末端部に傾斜を得え小型カメラなどの積載物を搭載したい場合でも部材として十分に耐えられることを確認した。
- 移動機構を備えたロボットなどに FSB-module を搭載した場合でも転倒や破損などの問題はなく、十分に機能できることを確認した。
- FSB-module の末端部に小型カメラを取り付けた場合、任意の角度であれば水平を保った映像が得られる。
- 各 FSB の組み合わせによって得られる展開幅から実現したい傾斜角度は無数に得られる。

以上より本論文では、各検証実験から展開幅が異なるインフレータブル構造物を多段に組み合わせることによって、360 °どの地点に角度が加えられ module が傾いたとしても、任意の角度であれば傾斜に対応した FSB フレームを展開および収縮させることにより末端部の水平維持の有用性および問題点を示した。

## 第8章 今後の展望

本研究の今後の展望を以下に示す．

- 本 FSB-module は、柱一本あたり展開幅が異なる FSB フレーム 4 段で構成したが、展開幅が大きいものがあるため収縮時にかかる時間が長くなってしまふ．そこで FSB フレーム一本あたりの展開幅を短くし収縮時間の短縮化を図り、迅速な変形が可能となる．また、考慮点として段数が増えれば出力を得るために動力源も増えるため、実現したい傾斜角や使用目的に合わせた段数の設定が必要である．
- 本研究では土台部と末端部を繋げる柱部に FSB フレームを用い 3 自由度平行機構を実現したが、土台部または末端部にも FSB フレームを用いることにより自由度数が増し収納効率も高くなると考える．
- 本研究で作製した FSB フレームは空気漏れが多少確認されるため、熱融着などを利用した製作や端部パーツと接着箇所もゴムパッキンなどで密閉精度を高めるなどの設計を行えばより高出力なアクチュエータとなる．そのため末端部に取り付けられる積載物の質量もより大きいものを取り付けられると考える．

このようなことが実現可能となれば、地震などの災害や人為的都市型災害以外に、山岳救助でのヘリで重体者を運ぶ際の簡易ベットや船上での作業時の足場など用途が更に増え、安価で収納効率が高く軽量なものが社会に提供できると考える．

# 謝辞

本研究にあたり，ご指導ご鞭撻を頂いた北陸先端科学技術大学院大学 情報科学研究科 丁洛榮助教授 (独立行政法人産業技術総合研究所知能機能システム部門主任研究員) に心から深く御礼申し上げます。

また，日々の様々な面で助言やご協力を下さった丁研究室の博士後期課程，前期課程の皆様にも御礼申し上げます。

# 付録

表 8.1: FSB 構成材料

膜面材料	
ポリイミドフィルム	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 ]
対折回数	≥20,000[Cycle]
体積低効率	1×10E15[Ωm]
ジャバラ	
丸ジャバラ	株式会社 ナベル
長さ	10 ~ 120[mm]
外形寸法	φ30[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	
合成樹脂	
長さ	20[mm]
外形寸法	φ33[mm]
内径寸法	φ28[mm]

チューブフィッティング	
ストレートミニ	株式会社日本ピスコ
全長	27[mm]
チューブ外形寸法	φ6[mm]
質量	3.6[g]
膜面接着剤	
エポキシ樹脂系	ハンツマン・アドバンスト・マテリアルズ社
エポキシ樹脂	50[%]
ポリアミドアミン	50[%]
変性シリコーン樹脂系	セメダイン株式会社
シリコーンゴム	100[%]
固定ネジ	
精密ネジ	φ30[mm]×6(L)[mm]

#### 参照

(ポリイミドフィルム:<http://www.td-net.co.jp/Kapton/>)

(丸ジャバラ:<http://www.bellows.co.jp/>)

(チューブフィッティング:<http://www.pisco.co.jp/>)

(エポキシ樹脂系:<http://www.Huntsman.com>)

(変性シリコーン樹脂系:<http://www.cemedine.co.jp/>)

表 8.2: FSB-module の構成仕様

土台部	
合成樹脂	
トリポット部	
全長	65[mm]
外形寸法	$\phi 34$ [mm]
内径寸法	$\phi 28$ [mm]
結合部	
全長	79[mm]
外形寸法	$\phi 34$ [mm]
内径寸法	$\phi 28$ [mm]
継ぎ手パーツ	
合成樹脂	
全長	33[mm]
外形寸法	$\phi 28$ [mm]
内径寸法	$\phi 23$ [mm]
オプション	空気穴 $\phi 6$ [mm]
FSB	
各全長 (展開時)	450,700,900,1600[mm]
各全長 (収縮時)	400,500,550,600[mm]
外形寸法	$\phi 33$ [mm]
内径寸法	$\phi 28$ [mm]
末端部 (上面)	
アルミ合板	
横幅	225[mm]
奥行き	225[mm]
厚み	3[mm]
質量	160[g]

表 8.3: 本制御システムの構成仕様

角度センサ	
MDP-A3U9S	NEC トーキン株式会社
出力形式	Z-Y-X オイラー角
各検出角度範囲	$\gamma \pm 180[\text{deg}], \beta \pm 90[\text{deg}], \alpha \pm 180[\text{deg}]$
検出角度誤差	$\pm 2.5[\text{deg}]$
インタフェース	USB 1.1
電源電圧	DC5[V](USB インタフェースより供給)
消費電流	0.1[A]
横幅	20[mm]
奥行き	20[mm]
高さ	15[mm]
質量	6[g]
使用温度範囲	0 ~ 40[ ]
使用湿度範囲	20 ~ 80[%]
Microcomputer(16bit)	
H8/3048F-ZTA	株式会社日立製作所
RAM 容量	4[kbyte]
ROM 容量	128[kbyte]
動作周波数範囲	1 ~ 18[MHz]
動作温度範囲	-20 ~ +75[ ]
電源電圧	-0.3 ~ +7.0[V]
電磁弁	
電磁弁 025	株式会社コガネイ
使用流体	空気
作動方式	直動形
使用圧力範囲	0 ~ 0.7[MPa]
使用温度範囲	5 ~ 50[ ]
質量	80[g]
定格電圧	12[V]
消費電力	0.53[W]
電流地	0.03[A]

Photo Mos Reray	
AQW212	松下電工株式会社
最大定格電圧	60[V]
最大定格電流	0.35[A]
ON 抵抗	0.83[Ω]
チューブフィッティング	
六角穴付ストレートミニタイプ	株式会社日本ピスコ
全長	17.5[mm]
チューブ外形寸法	φ6[mm]
質量	4.4[g]

#### 参照

(角度センサ:<http://www.nec-tokin.com/>)

(Microcomputer:<http://www.hitachi.co.jp/>)

(電磁弁:<http://www.koganei.co.jp/>)

(Photo Mos Reray:<http://www.mew.co.jp/>)

(チューブフィッティング:<http://www.pisco.co.jp/>)

表 8.4: 空気圧回路構成部品

吸気側コンプレッサ	
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[h]
吸入口サイズ	φ5[mm](外形)
吐出口サイズ	φ5[mm](外形)
取付寸法	52(L)[mm] × 36(W)[mm]
本体質量	190[g]
送気側コンプレッサ	
ダイヤフラムコンプレッサ	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	2,700[g]
付属品	
ウレタンホース (両口 PF1/8" 凹)	2[m](E1312)
振動防止スポンジ	

参照

(吸気側コンプレッサ:<http://www.medo.co.jp/>)

(送気側コンプレッサ:<http://www.kiso-proxxon.co.jp/>)

表 8.5: Pioneer3 の仕様

Pioneer3	Active Media 社
型式	DX8
全幅	380[mm]
奥行	440[mm]
全高	220[mm]
最低地上高	60[mm]
本体質量	9,000[g]
走行可能な最大勾配	25[%]
走行可能な最大段差	250[mm]
最大積載量	23,000[g]
車輪直径	165[mm]
ギア比	19.5:1
バッテリー動作時間 (最大)	18 ~ 24[h]
バッテリー充電時間	2.4[h]
CPU	H8 ベース

参照

(Pioneer3:<http://www.revast.co.jp/Activ/pioneer3/>)

表 8.6: 小型カメラの仕様

レンズ部	CBC 株式会社
型式	T0812FICS-3
画面寸法/型	1/3
マウント	CS
外観寸法	$\phi 34.5 \times 33$ [mm]
本体重量	37[g]
本体部	PointGrey 社
型	小型カメラ
センサタイプ	HAD CCD
画像出力	8bit または 12bit
定格電圧	8-32[V]
消費電力	3[W]
外形寸法	30x31x29[mm]
本体重量	46[g]

参照

(レンズ部:<http://www.cbc.co.jp/>)

(本体部:<http://www.ptgrey.com/>)

## 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, pp803–806, 2003.
- [2] 田所 諭, 「大大特プロジェクトの目的と概要」日本ロボット学会誌, Vol.22, No.5, pp544–545, 2004.
- [3] 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/>
- [4] 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/>
- [5] Robin R. Murphy, 牧原 忍 (翻訳), ニューヨーク世界貿易センターでのレスキューロボット, 日本機械学会誌, Vol.106, No.1019, pp794–802, 2003.
- [6] 「文部科学省大都市大震災軽減化特別プロジェクト 被災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 大大特研究テーマ, <http://www.resucuesystem.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, pp778–781, 2003.
- [9] 大須賀 公一, 「ヘビ型ロボットによる狭空間探索」日本ロボット学会誌, Vol.22, No.5, pp554–557, 2004.
- [10] 東京工業大学 北川・塚越研究室, <http://www.cm.ctrl.titech.ac.jp/> .
- [11] 原坂 龍太, 「ミミズ型レスキューロボットの開発に関する研究」, 北陸先端科学技術大学院大学 平成 16 年度修士論文.
- [12] 電気通信大学 松野研究室, <http://www.hi.mce.uec.ac.jp/matsuno-lab/index.html>
- [13] M.GUARNIERI,P.DEBENEST,T.INOH,E.FUKUSHIMA,S.HIROSE, Helios V2:a new vehicle for disaster resposemechanical design and basic experiments, Advanced Robotics, Vol.19, No.8, pp901–927, 2005.

- [14] 前田 裕司, 「膜面構造インフレーター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 平成 17 年度修士論文.
- [15] 「救急救助ロボット T-52 援龍」, Newton, Vol.106, No.24, pp78–85, 2004.
- [16] 株式会社テムザック「援龍 T-52」, <http://www.enryu.jp/>
- [17] 広瀬 茂男, 阿部 顕一, 災害救助に活用できる空気圧ポンプの開発, 消防防災科学論文 <http://www.fri.go.jp/cgi-bin/hp/>
- [18] 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, pp775–777, 2003.
- [19] 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/>
- [20] 千葉大学 野波研究室, <http://mec2.tm.chiba-u.jp/nonami/>
- [21] 小野里 雅彦, 「被災地での情報収集・伝達のための分散システムの開発」日本ロボット学会誌, Vol.22, No.5, pp558–561, 2004.
- [22] Knirps 社, <http://www.knirps.de/>
- [23] 株式会社アルインコ, <http://www.alinco.co.jp/>
- [24] 株式会社ハイビックス, <http://www.hivix.co.jp/>
- [25] 理化学研究所, <http://www.riken.jp/>
- [26] 新技術融合シリーズ:第二巻, 「知的融合材料と知的適応構造物」, 日本機械学会, 1996
- [27] 米 ジェット 推進 研究所 (Jet Propulsion Laboratory), <http://mars.jpl.nasa.gov/MPF/mpf/mpfairbags.html/>
- [28] 「シェルの振動と座屈ハンドブック」, 日本機械学会, 2003
- [29] XIANWEN KONG, CLEMENT M. GOSSELIN, Type Synthesis of Three Degree-of-Freedom Spherical Parallel Manipulators, Robotics Research, Vol.23, No.3, pp237–245, 2004.
- [30] LUC ROLLAND, Certified solving of the forward kinematics problem with an exact algebraic method for the general parallel manipulator, Advanced Robotics, Vol.19, No.9, pp995–1025, 2005.
- [31] 綿末 太郎, 小野里 雅彦, 田所 論, 「レスキューロボット実用化のためのテストフィールド」日本ロボット学会誌, Vol.22, No.5, pp572–573, 2004.