

## 科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成 24 年 6 月 15 日現在

機関番号：82645

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2009～2011

課題番号：21760659

研究課題名（和文）内圧維持型マルチセルインフレータブル宇宙構造システム

研究課題名（英文）Multi-Cellular Inflatable Space Structures Supported by Inner Pressure

研究代表者

石村 康生（ISHIMURA KOSEI）

独立行政法人 宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所・准教授

研究者番号：10333626

研究成果の概要（和文）：

軽量かつ高収納効率を有する宇宙構造システムとして、内圧維持型のマルチセルインフレータブル構造の研究を行った。まず、マルチセルインフレータブルサンドイッチパネルを開発し、高い曲げ剛性を有することを解析と要素試験によって示した。さらに、パネルの大型化を試み、多段化による厚みの増大や、メートルオーダーのパネルの開発を行った。また、マルチセルインフレータブルパネルの安定な展開法を示すとともに、内圧の変化を利用した形状制御機構を提案し、その有効性について、解析及び実験を通じて検証した。

研究成果の概要（英文）：

Multi-cellular inflatable structures were investigated as a candidate of ultra-light space structures with high packaging efficiency. Through numerical analysis and element tests, it was shown that the developed multi-cellular inflatable sandwich panels had sufficient bending rigidity. Furthermore, meter-order multi-layered sandwich panels were also developed as a structural element with practical scale. In addition to it, the dynamical behavior including stable deployment procedure and shape control was also studied.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
21 年度	800,000	240,000	1,040,000
22 年度	1,300,000	390,000	1,690,000
23 年度	1,200,000	360,000	1,560,000
総計	3,300,000	990,000	4,290,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：総合工学，航空宇宙工学

キーワード：構造・材料

### 1. 研究開始当初の背景

宇宙構造システムには、打ち上げコストに直接的に関係する軽量化と高収納効率という要求がある。インフレーター構造は、これらの要求に対する一つの解として期待されている。しかしながら、インフレーター構造を宇宙利用するにあたり、最も深刻な問題の一つにスペースデブリやマイクロメテオロイドによる膜面の破損がある。この問題を回避するために、膜面の破損に対してロバストな超軽量かつ高収納効率を維持したインフレーター構造が必要である。

本研究では、上記の問題を内圧維持、構造のマルチセル化・階層化という着眼点から解決を図った。

### 2. 研究の目的

“超軽量かつ高収納効率を有する新たな大規模宇宙構造システムの実現”が研究目的であり、そのために、膜面破損に対してロバストな内圧維持型のマルチセルインフレーター構造の研究を行った。マルチセル構造は従来の宇宙システムでは困難であった大量生産の可能性をもつ。汎用性が高くかつ基本的な構造要素に対しての研究を行った。具体的な研究課題は、内圧維持型のマルチセルインフレーター構造の基本特性の解析、超軽量かつ高収納効率を有する大規模宇宙構造システムの提案・評価である。

### 3. 研究の方法

内圧維持型のマルチセルインフレーター構造の基本特性の評価するために、汎用的な基本構造要素として、マルチセルインフレーターサンドイッチパネル(板要素：図1)を対象とし、その機械特性の評価を行う。第一段階として、これらの構造要素の近似解析解を導出すると同時に、実験を実施し、提案のインフレーター構造の比剛性を明らかにする。また、実利用に向けてマルチセルインフレーター構造の大型化を実施する。

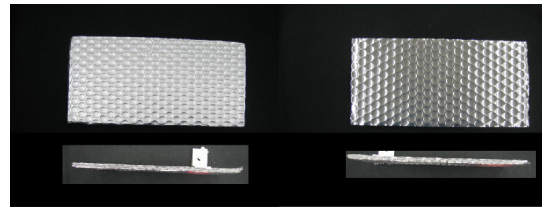


図1 マルチセルサンドイッチパネル

次に、マルチセルインフレーター構造の中でも、収納時から内部ガスを封入したタイプの構造要素に対して、膜面の破損に対する展開機能のロバスト性を実験により明らかにする(図2)。複数のセルの膜面が破損しても展開機能が維持できることを示す。また、準静的な安定な展開挙動を実現するための指針を得る。

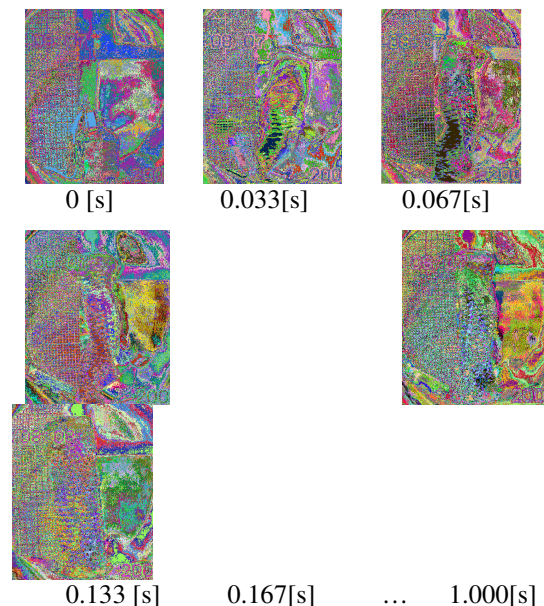


図2 マルチセルインフレーター構造の展開挙動

さらに、マルチセルインフレーター構造に柔軟な **bending actuator** を組み込むことで、内圧の変化を利用した形状制御を可能とする。この形状制御機構の有効性について、解析及び実験を通じて検証する(図3)。加えて、複数セル間の温度ムラによる熱変形について、試験と解析から評価する。

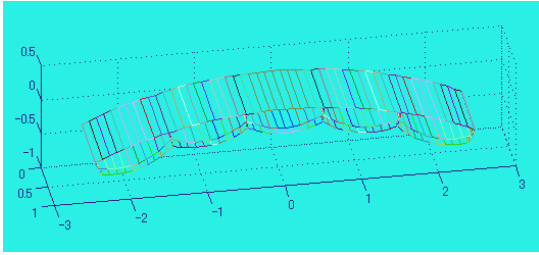


図3 マルチセル形状制御機構

#### 4. 研究成果

(1) マルチセルインフレタブルパネルのスケールモデルを製作し、真空槽内において3点曲げ及び4点曲げの試験結果から、曲げ剛性および剪断剛性を評価した(図4)。その結果、せん断剛性が予想値に対して上回ることで、ローカルな厚み方向の変形が、曲げ変形に影響を与えることが判明した。サンドイッチパネルのフェースシートの厚みを変更することで、ローカル変形に対する対策とはなる。また、試験結果から、目標としていた面密度以下での剛性維持が可能であることが確かめられ、革新的な軽量かつ剛性の高いパネル構造としての基礎特性が明らかになった。さらに太陽電池パネルとしての利用を想定し、多段のマルチセルプレート(図5)の製造方法を確立した。

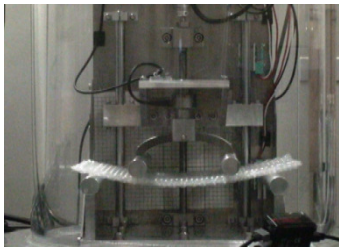


図4 真空槽内での4点曲げ試験

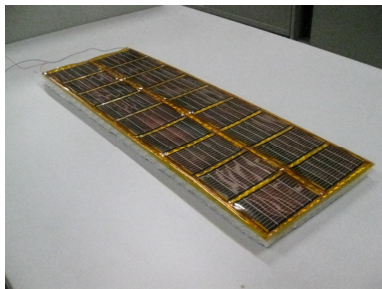


図5 多段マルチセルプレート(太陽電池付)

次に、マルチセルシリンダーに対して、膜面の破損に対する展開機能のロバスト性を実験により明らかにした(図6)。20%以上のセルが破損し、内圧が0となっても、展開機能を失わない。また、制動ケーブルを付与することで、展開を準静的

に実施が可能となり、シリンダーの展開時の横ずれが、伸展長に対して4%以内に抑えられることを示した(図7)

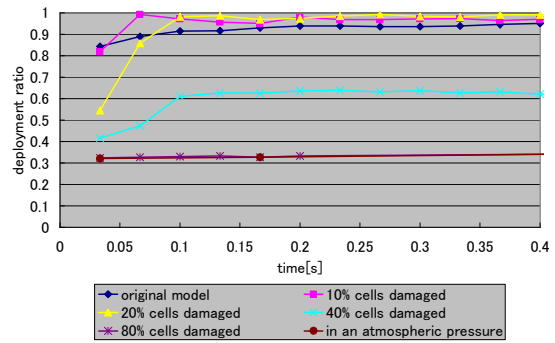


図6 セルの破損割合がマルチセルシリンダーの展開率に与える影響

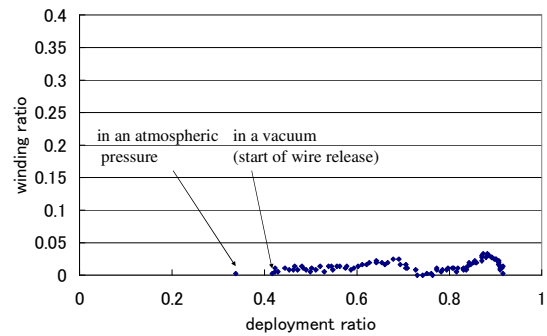


図7 マルチセルシリンダーの伸展時の横ずれ率(制動ワイヤー有)

さらに、横隔膜に着想を得た新しいマルチセル構造による形状制御機構を提案した。解析より各種パラメータの制御特性への感度を評価すると同時に(図8)、実験によってその有用性を示した(図9)。最後に、複数セル間の温度ムラによる熱変形について試験と解析から評価し(図10)、小規模のサンドイッチパネル構造においては、セル間の温度ムラによる変形は問題にならないことを示した。

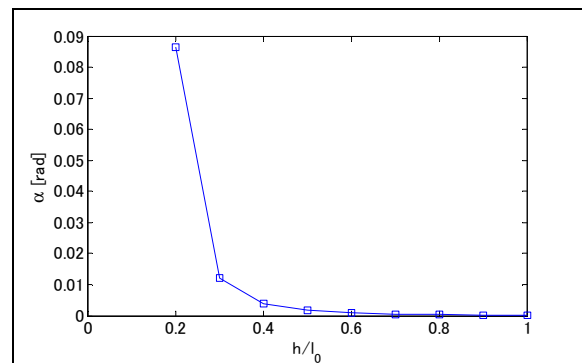


図8 セルのアスペクト比と発生曲げ角の関係

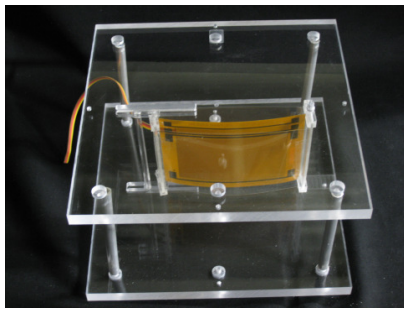


図9 マルチセル構造による形状制御機構

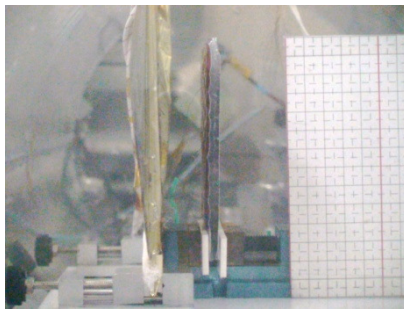


図10 マルチセルプレートの熱変形  
( $\Delta T=7^{\circ}\text{C}$ )

## 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)

[雑誌論文] (計3件)

- ① Takahira Aoki, Kosei Ishimura, "New concept of compressive load transmitting member applicable to large space structures," Acta Astronautica, 査読有, Vol.67, 2010, pp.449-454.
- ② K. Ishimura and K. Higuchi, "Fundamental characteristics of inflatable structure composed of sealed multi-cells," Transaction of the Japan society for aeronautical and space sciences, Space Technology Japan, 査読有, 2009, Pc\_43-Pc\_48.
- ③ T. Aoki, H. Furuya, K. Ishimura et al., "On-Orbit Verification of Space Inflatable Structures," Transaction of the Japan society for aeronautical and space sciences, Space Technology Japan, 査読有, 2009, Tc\_1-Tc\_5.

[学会発表] (計11件)

- ① 片山範将, 石村康生, 二橋勇氣, 杉山彩香, 青木隆平, 樋口健, 宮崎康行, 岸本直子, "マルチセルインフレータブルサンドイッチパネルの開発," 構造強度に関する講演会, 2011年7月27日, 秋田.
- ② 本多菜摘, 青木隆平, 岸本直子, 小嶋淳, 宮崎康行, 石村康生, "大気圧インフレータブル構造の試作と評価," 宇宙構造・材料シンポジウム, 2010.12.12, 相模原.

- ③ 片山範将, 石村康生, 宮崎康行, 樋口健, "マルチセルインフレータブルサンドイッチパネルの曲げ特性に関する研究," 構造強度に関する講演会, 2010.7.26, 鳥取.
- ④ 樋口健, 青木隆平, 宮崎康行, 荒木友太, 古谷寛, 泉田啓, 岸本直子, 角田博明, 石村康生, 石澤淳一郎, 酒井良次, 渡邊秋人, 川端信義, 堀利行, 伊藤裕明, 渡辺和樹, 及川祐, 倉富剛, "インフレータブル方式伸展マスト宇宙実証のための「きぼう」曝露部搭載実験装置の開発," 構造強度に関する講演会, 2010.7.26, 鳥取.
- ⑤ 青木隆平, 宮崎康行, 古谷寛, 泉田啓, 岸本直子, 角田博明, 樋口健, 石村康生, 石澤淳一郎, 酒井良次, 渡邊秋人, 川端信義, 堀利行, 伊藤裕明, 渡辺和樹, 及川祐, 倉富剛, "宇宙インフレータブル構造の宇宙実証-SIMPLE-," 日本機械学会2010年度年次大会, 2010.9.23, 名古屋.
- ⑥ K. Ishimura, N. Katayama, K. Higuchi and D. Inman, "Diaphragm Mechanism for Shape Control of Multi-Cellular Inflatable Panel," Structural Membranes 2009, IV International Conference on Textile Composites and Inflatable Structures, 2009.10.6, Stuttgart, Germany.
- ⑦ K. Higuchi and K. Ishimura, "A Survey of Space Structures Research in Japan," 50th AIAA/ASME/ASCE/AHS/ASC Structures, Structural Dynamics, and Materials Conference, 2009.5.5, Palm Spring, USA.
- ⑧ 石村康生, 樋口健, 山田和彦, "インフレータブル構造における内圧の寄与と展開挙動が衛星姿勢に与える影響についての一考察," 宇宙航行の力学シンポジウム, 2009.12.11, 相模原.
- ⑨ 片山範将, 石村康生, 宮崎康行, 樋口健, "マルチセルインフレータブルパネルの曲げ剛性についての検討," 構造強度に関する講演会, 2009.7.24, 和歌山.
- ⑩ 岸本直子, 及川祐, 渡辺和樹, 青木隆平, 石村康生, "スペーステラリウム基本構造の展開実験," 構造強度に関する講演会, 2009.7.24, 和歌山.
- ⑪ 岸本直子, 青木隆平, 及川祐, 渡辺和樹, 石村康生, 宮崎康行, "インフレータブル構造による生態維持空間構築と宇宙実証実験," 宇宙科学技術連合講演会, 2009.9.10, 京都.

## 6. 研究組織

### (1)研究代表者

石村 康生 (ISHIMURA KOSEI)  
 独立行政法人 宇宙航空研究開発機構・  
 宇宙科学研究所・准教授  
 研究者番号：10333626