

A02 地上に於ける3次元展開構造物の模擬低重力実験手法の検討

○萩原祐貴 (東海大学・院)、十亀昭人 (東海大学)
○Yuki HAGIWARA(Tokai University), Akito SOGAME(Tokai University)

1. 研究背景

近年、世界的に宇宙開発が盛んになり、月、火星、小惑星などの探査、また、火星など地球外への移住の計画も検討されている。そこでは宇宙や月といった地球とは異なる環境を十分に考慮する必要があり、今後、宇宙空間を模した環境での訓練や実験が重要な検討課題となってくる。そのためには宇宙独自の環境でもある重力を模擬した実験手法の確立は避けて通れない課題の一つとなる。

現在、3次元形態の1, 2次元展開や、2次元形態の1, 2次元展開は模擬低重力下での展開実験手法が提案され、様々な実験が行われている。中でも、近年提案された2次元展開のキャンセリング手法は、今後もソーラーセイル探査衛星など設計に大きく役立つものとなる。図1に重力キャンセリング手法の一例を示す。

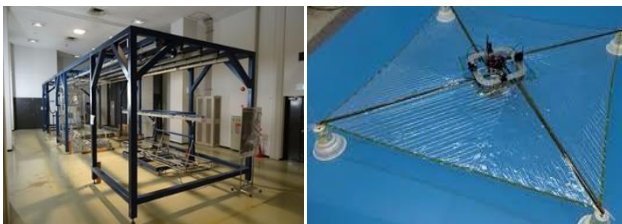


図1 1次元展開の重力キャンセリング手法(左)と2次元展開の重力キャンセリング手法(右)

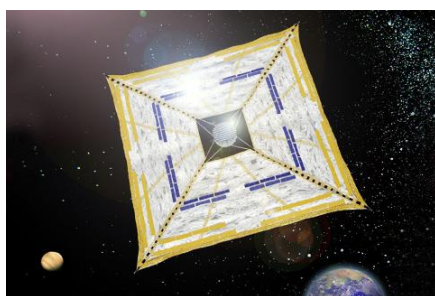


図2 小型ソーラー電力セイル実証機「IKAROS」

一方、3次元展開に関する低重力を模擬した手法は未だ確立されていないのが現状であり、今後の3次元展開構造物の利用のための大きな課題となっている。

2. 研究目的

本研究の目的は、3次元展開構造物での低重力環境をシミュレートした展開実験の手法を確立するために、水中での実験を検討する。ここでは、中性浮力にしたパネル部材を用いたモデルを作成し、水中にて展開実験を行い、その挙動を確認する。

3. 研究方法

本研究の方法を下記に示す。

- (1) パネルを用いた3次元展開構造物の形状や、展開方法、モデル材料を検討する。
- (2) (1)にて検討した3次元展開構造物を元に各パネルのひとつひとつの部材を中性浮力に近いモデルを作成する。
- (3) 作成されたモデルを用いて水中展開実験を行い、その検証を行う。
- (4) これらの検討方法を通して地上に於ける3次元展開構造物の実験手法を検討する。

4. パネル状の部材の形状検討

4-1 厚みを考慮した3次元展開構造物の形状

ここでは、実験で用いる事のできる厚みのあるパネル状の部材の形状検討を行った。

ここではまず、1ユニットの最大重複枚数の異なる3次元展開構造物の図面を書き、図面を基にそれぞれの1モジュールのみのモデルを作成し、厚みを考慮した展開が可能か検討を行った。最大重複枚数が4枚、8枚について検討を行った結果、最大重複枚数が4枚までであればパネル状の部材を用いて収納時の厚さを変えずに収縮展開が可能となる形態を明らかにした。検討を行ったパネル部材の展開図を図3に示す。



図3 厚みを考慮した展開図(上:外側,下:内側)

検討結果をもとに、6頂点、展開率 1.3、展開時直径 400mm、ユニット高さ 100mm の円筒型3次元展開構造物のモデルを作製することとした。

4-2 展開方法

現在、主に検討されている3次元展開構造物の展開方法は、インフレーター構造に充填材を注入し展開する方法や、外周部からの引っ張りによる展開が試されている。ここでは、注水することで展開することができるインフレーター構造による展開形態で実験を行う。

4-3 中性浮力を模擬するモデル材料の検討

各パネル状部材を中性浮力に近づけるためモデル材料の検討を行った。試行錯誤を繰り返し、1mmのスチレンボードと 3mmのゴムボードを用いて実験を行ったところ、中性浮力に近い複合材の作成を行えたため、本研

究の一連の実験ではこの素材を用いるものとする(図4参照)。

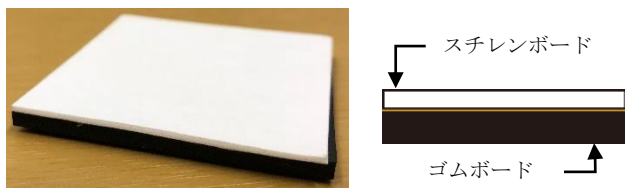


図4 複合材イメージ図

4-4 複合材を用いた模型作成

4-1、4-3の検討結果をもとにパネル状部材を用いた3次元展開構造物の模型を作成した。また、3次元展開構造物を展開させるためのインフレータブル構造も併せて作成した。作成した模型とインフレータブル構造を貼り合わせたものを実験模型とする。

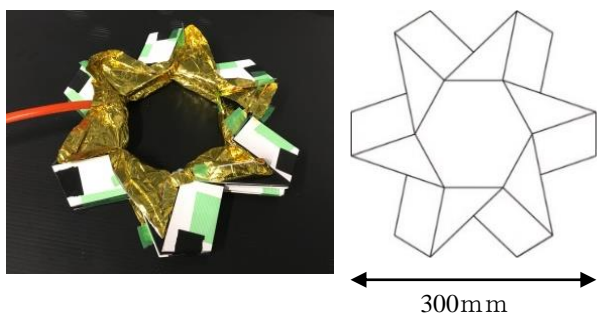


図5 パネル状部材を用いた3次元展開構造物(左)と実験模型の収納平面図(右)

5. 水中展開実験

実験模型を水中に沈め注水する展開実験は、図6のような形態で行うものとする。

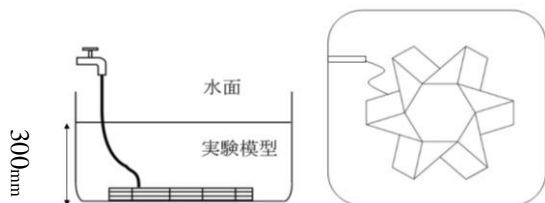


図6 水中実験形態図(左:側面、右:上面)

表1 地上、水中の計測数値平均(5回計測)

	最大内径	最小内径	最大高さ	最小低さ	頂点間角和
地上	360mm	220mm	89mm	84.4mm	835°
水中	432mm	241.4mm	96.2mm	90mm	958°

1回目の実験ではインフレータブル構造の中に空気が残ってしまっていたため、展開中に模型が浮上してしまい実験が上手くいかなかった。2回目の実験ではインフレータブル構造内の空気を慎重に取り除き実験を行う事ができた。



図7 地上実験

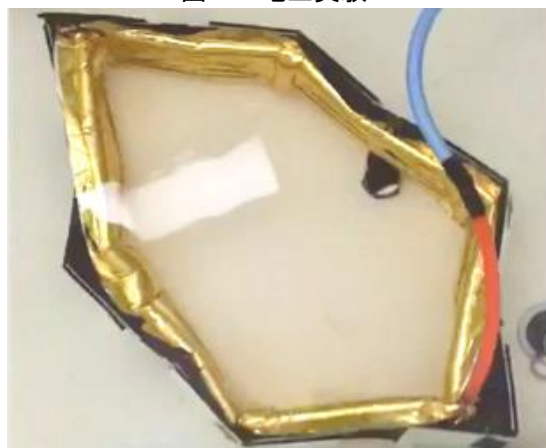


図8 水中実験

この実験の結果、重力の影響も感じられず、途中で展開が止まることもなく十分に展開することができた。地上実験との比較を図7、8に示す。同図に示されるように頂点と頂点の間の凹角の和が大きく改善していることが分かる。このときのそれぞれの計測数値を表1に示す。

6. 水中展開実験の課題

前項のように、地上実験に比べ展開が上手くいくことが示されたが、これまでには無い課題も明らかになった。図9は水中での展開実験中の展開過程図であるが、低重力を模擬できている分、同図のそれぞれの模型の中心部の線に注目すると、その移動が激しく、実験中に安定していない事がわかる。

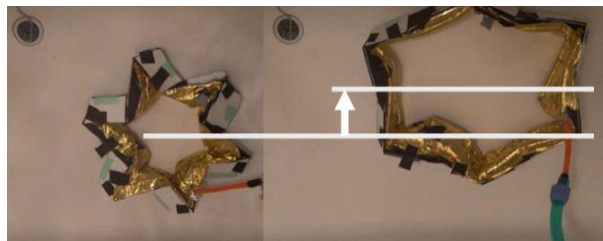


図9 水中実験での展開過程図

このように、地上実験は月面などの低重力に比べ不利な点が多いと思われていたが、逆に月面などの低重力だからこそ現れる不具合の要素も明らかとなった。

7. 部材厚さを変えた展開実験

材料について、展開構造物の重量に左右で差異が

生じること、模擬低重力環境と地上環境において差異を測るために不十分な重量であったことを加味し、部材を重ね合わせ使用し十分に重量を確保した上で同様の形状の模型を作成した。

厚さが2倍となったモデルで実験を行った。表2に各展開実験5回の平均計測値データを示す。また、図10に通常の展開実験、図11に水中での展開実験の写真を示す。

表2 地上、水中展開実験各5回平均値

	最大内径	最小内径	最大高さ	最小高さ
地上5回平均	359mm	217mm	84mm	63mm
水中5回平均	394mm	369mm	99mm	96.4mm



図10 地上での展開実験



図11 水中での展開実験

表2に示される通り、5回に渡る各展開実験の検証の結果、模型重量を大きくすることにより、水中展開と地上展開における差を明確にした実験を行うことができた。

8 インフレーター部の形状検討

7.より、この展開の差異を明確にすることに成功したが、展開に最適なエア、水量についての検討はされていない。水中に於いて擬似低重力環境下で

の実験が行えるのであれば、展開駆動に関わる効率を更に上げられる可能性があるため、エア及び水量を減らすことに着目し膜材の改良を行う。

8-1 改良モデル及び材料と形状の検討 ①

ここではまず柱状部を3本として、これまでの1/2に削減し実験を行う。図12に上記の概要を示す。尚、エア水量による展開の差異を図るためモデル形状及び材料はと7と同様とする。

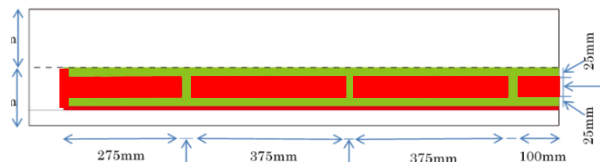


図12 インフレーター構造を改良した形状の詳細

8-2 インフレーター構造を改良した展開実験 ①

表3に各展開実験5回の平均計数値データ、図13に通常の展開実験、図14に水中での展開実験の写真を示す。

表3 地上、水中展開実験各5回平均値

	最大内径	最小内径	最大高さ	最小高さ
地上5回平均	227mm	157mm	86mm	52.6mm
水中5回平均	428mm	304mm	100mm	95mm

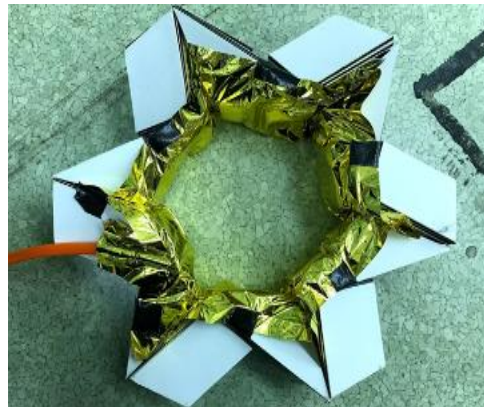


図13 地上での展開実験



図14 水中での展開実験

表 2 と 3 を比較すると地上展開の展開よりも水中実験の展開が上手く行えている事が分かる。しかしながら、一方で図 14 に示される通り、管の通っていない 3 頂点部分は一定の曲率を持った展開形状とはなっておらず、展開時の形が 3 頂点に近い形になる傾向が見受けられた。

8-3 改良モデル及び材料及び形状の検討 ②

8-2 の実験成果を受け、エア、水量の最小限化と 6 頂点の形が整った展開の実現を目指し、模型の改良を検討する。図 15 に、ここで検討を行う柱状部を無くしたインフレーターブル構造の概要を示す。

尚、モデル形状及び材料は 7、8-2 と同様とする。

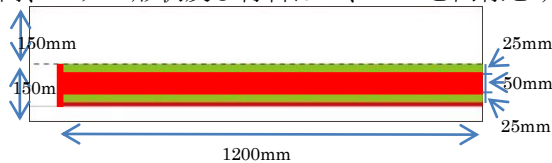


図 15 柱状部を無くしたインフレーターブル構造の詳細

8-4 インフレーターブル構造を改良した展開実験 ②

表 4 に各展開実験 5 回の平均計数値データ、図 12 に通常の展開実験、水中での展開実験の写真を示す。

表 4 地上、水中展開実験各 5 回平均値

	最大内径	最小内径	最大高さ	最小高さ
地上 5 回平均	242mm	202mm	82mm	53mm
水中 5 回平均	454mm	300mm	100mm	96.2mm



図 16 地上での展開実験 図 17 水中での展開実験

表 2~4、及び図 16、17 の写真を比較すると、この形態が最も上手く展開が行えたことが分かる。本実験により、インフレーターブル構造の柱状部を減らすことで、スムーズに展開が行え、且つ展開時の形状も適切に開く可能性があることが明らかとなった。このことは低重力環境下を模擬する実験でのみ検証できる事であり、本手法の有効性が確認できたと考えられる。

7. まとめ

本研究ではパネル状部材を用いた 3 次元展開構造物の模型で 3 次元展開の実験を行い、その展開時の挙動の一端を明らかにした。

地上と水中で展開実験を行った結果、複合材を用いて水中で展開実験を行った場合、地上で行う実験よりもパネルを上手く展開させることができた。また、水中での実験では注水や展開の勢いで模型が動いてしまうことが多く見られた。これは中性浮力に近いため外力の影響を大きく受けるためであると考えられる。このことは低重力ならではの不具合となる可能性も指摘できる。

またこれらの実験を改良し、重さを変えた実験も行い、地上重力環境下と水中での模擬低重力環境下での挙動の違いを示すことができた。

8. 参考文献

- (1) 萩原祐貴, 十亀昭人, 仙場淳彦: 地上に於ける 3 次元展開構造物の模擬低重力実験手法の検討, 第 62 回宇宙科学技術連合講演会(久留米), 2018 年 10 月
- (2) (1) 宇宙構造システム研究室/
http://forth.aero.cst.nihon-u.ac.jp/research_ADSS.html
- (3) JAXA 小型ソーラー電力セイル実証機「IKAROS」/
http://www.jaxa.jp/projects/sat/ikaros/index_j.html
- (4) ORIGAMIProject/
<http://www.origami.titech.ac.jp/about>
- (5) 萩原祐貴, 十亀昭人, 仙場淳彦: 3 次元展開構造物の展開挙動実験, 第 61 回宇宙科学技術連合講演会(新潟), 2017 年 10 月
- (6) 十亀昭人, 齋藤潤, 古谷寛: 3 次元筒状展開構造物の試作とその展開駆動方式の検証, 宇宙開発事業団/財団法人日本宇宙フォーラム平成 12 年度公募地上研究採択テーマ, pp.1~6, 2001 年 3 月
- (7) 萩原祐貴, 上川熒平, 大野寛明: 地上に於ける 3 次元展開構造物の模擬低重力実験手法の検討 2017 年度東海大学工学部建築学科卒業論文
- (8) 瀧澤直希: 3 次元筒状展開構造物の部材厚さを変えた水中展開実験 2018 年度東海大学工学部建築学科卒業論文
- (9) 十亀昭人, 齋藤潤: 筒状展開構造物, 特許公開平 11-223299, 1999 年 8 月 17 日(国内特許)
- (10) 十亀昭人: 3 次元展開構造物, 特許公開 2000-130688, 2000 年 5 月 2 日(国内特許)
- (11) 十亀昭人: 展開構造物, 特許公開 2009-001183, 2009 年 1 月 8 日(国内特許)