

1. 実験テーマ名

和文 - 将来の宇宙利用を見据えた膜面展開特性に関する研究

英文 - Research of Membrane Deployment Characteristics for Future Applications in Aerospace

2. 実験の目的・概要

近年、ソーラーセイル実証機イカロスをはじめとして、柔構造大気突入機や大型宇宙構造物など膜面の宇宙利用の研究が非常に盛んである。そこで、問題となるのが宇宙環境における膜面の挙動である。宇宙は真空環境であり、何より物体が無重量状態となることが膜面の挙動を地上で私たちが目にするそれとは違ったものにする。そこで、本チームの実験では膜面の宇宙での挙動について明らかにするため、まずは大気中での無重量環境下における膜面挙動を定量的・定性的に調べたい。これを外国人を含むチーム構成で行うことで、膜面挙動に関して科学的重要性の高い研究結果を得るとともにグローバルコミュニケーションを学ぶことができる。

本実験では、解析対象は膜面の展開を主とする。宇宙での膜面利用の最大の利点はその収納性と軽量さにある。例えば宇宙空間に大型構造物を建築する際に、地上で行われているような建築方法では、非常に多くの大型の資材を運ばなければいけない。しかし、収納性が高く軽量の膜面を構造物に利用すれば、宇宙機のペイロードを効率的に活用でき、大型構造物の部材を非常に低コストに輸送できる。このような膜構造物において、収納状態からあらかじめ定められた形状に展開する際の膜の挙動の把握は、その取り扱いにおいて必要不可欠である。しかし、そのような研究は実験的に行うことが難しいため、実験的研究は非常に少ない。これは、このような実験は地上で行われる落下塔試験の1秒程度という時間オーダーでは現象をみるには足りないことが最大の要因である。そこで、本実験ではパラボリックフライトによってつくられる比較的長い無重量状態において、観測による膜面の展開挙動の定性的解析とステレオ視による定量的解析を行いたい。展開方法については、仕組みが簡素で展開方法として現実的である膜自身の回転による遠心力の作用で展開するものとインフレーターを用いて展開するものを解析対象とする。インフレーターとは閉じた膜面内に気体を充填して構造を維持する膜構造物を指す。それぞれ欠点として、スピン方式による展開は展開速度が遅い、インフレーター方式は機体の充填速度によっては膜全体に大きな擾乱を起こすと予想できる。これらはスピンレートや充填速度、膜材料物性に依存する。本研究ではこれらをパラメータとして実験を行うことで、観測映像から前述の2方式の展開特性を定性的に評価する。また、ここで得られる画像からコンピュータ上でステレオ視による形状の再構築を行い、その動きを定量的に解析する。これにより、宇宙で膜面を利用する際に予想される問題点を明らかにし、その対策を検討することができる。また、ここでの数値的なデータは将来の膜面の数値シミュレーションの比較対象とすることができる。

<英文アブストラクト>

In recent years, space utilization of membrane materials has actively studied. When we build large space structure, the utilization of membranes has big advantage because it is easy to be stored and so lightweight. In the use of membrane in space, it is

necessary to understand the characteristics of deployment from the stored condition. In this study, we analyze the behavior of membranes under the micro-gravity environment, especially the characteristics of membrane deployment. For the deployment, we consider two methods, centrifugal force system and inflatable system. For these membrane models, we qualitatively analyze by obtaining the video images of the membrane behavior. And from the observation result, we develop the virtual micro-gravity membrane simulator in the computer for quantitative analysis. These results are expected to clarify the technical problems, the methods to overcome them and the appropriate development strategy for the use of membrane materials in our future space activities.

3. 実験内容の区分

化学・物理・生物・医学・**理工**・文化・芸術・その他（ ）

4. 実験手順

4.1. 実験機器

本実験では、実験1として膜模型の回転(スピン)による展開の観測、実験2としてインフレータブルによる膜模型の展開の観測を行う。この実験は、図1に示す実験系において行われる。各実験装置は実験筐体内に設置される。これは、膜面の挙動に実験系外の空気の流れによる影響が生じることを防ぐためである。この筐体の前方は、模型等のセットアップのため取り外し可能な構造となる。この筐体内に、複数のカメラとライトを設置し膜模型の挙動を撮影、これをノート PC へ記録する。これらの観測系機器は全て USB ケーブルを介して電源供給、データ転送を行う。膜模型は図2に示すような円形のものと正方形のものを使用する。直径または一辺の長さは 250mm 程度となる。これを筐体上部に設置したスピン機構またはインフレータブル気体充填機構によって展開する。無重量状態での膜面の挙動を観察するには、膜面は他の実験機器と接触せず、自由状態となることが望ましい。そのため、本実験では前述の展開機構に加えて、模型から展開機構を遠ざけるリリース機構が必要と思われる。このような機器の必要性は、無重量状態では膜模型を展開機構から切り離しても膜面へ重力が働かないため、展開機構と模型の相対位置が変わらないと予想されることに起因する。これらの機構の電源は、別途用意するバッテリーにより供給する。

ここでは、具体的な実験機器として観測系のみを記載する。これはこの他の実験機器は後に述べる予備実験の結果などを反映して、逐次、変更が必要となるためである。

- ・ノート PC - LuvBook S200S4、mouse computer
- ・ライト - USB クリップランプ 28LED、UCL-28LED、Japan Trust Technology
- ・カメラ - CEJH-15001、Sony Computer Entertainment Inc.

4.2. 実験1手順

以下に、実験1の実験手順を記す。

- 1) カメラ、ライトの動作確認
- 2) リリース機構設定
- 3) スピン機構のパラメータ設定
- 4) 模型の変更、取付け
- 5) カメラ視線方向の調整
- 6) 前部アクセス板を閉鎖
- 7) 実験信号または無重力センサにより実験開始

- 8) 膜のスピン、切り離し、展開の観測
- 9) 実験終了後、前部アクセス板を開けて取得データの確認
- 10) 1) ~ 9) 繰り返し

実験 1 におけるパラメータを以下に記す。

- ・膜模型形状 (円、正方形)
- ・膜外縁錘重量
- ・スピンレート

以上のパラメータは予備実験を通して決定する。

4.3. 実験 2 手順

以下に、実験 2 の実験手順を記す。

- 1) カメラ、ライトの動作確認
- 2) リリース機構設定
- 3) 気体充填機構のパラメータ設定
- 4) 模型の変更、取付け
- 5) カメラ視線方向の調整
- 6) 前部アクセス板を閉鎖
- 7) 実験信号または無重力センサにより実験開始
- 8) 膜の切り離し、気体充填、展開の観測
- 9) 実験終了後、前部アクセス板を開けて取得データの確認
- 10) 1) ~ 9) 繰り返し

実験 2 におけるパラメータを以下に記す。

- ・膜模型形状 (円、正方形)
- ・インフレーターサイズ
- ・インフレーター気体充填速度

以上のパラメータは予備実験を通して決定する。

4.4. 予備実験

これまでに無重量実験に関する知見を得るために、実験 1 に関して地上での予備実験を行った。この予備実験では主に、スピン・リリース機構の動作検証と観測系の動作検証を目的としている。図 3 に本予備実験で使用したスピン・リリース機構のハーフカットモデル概略図を示す。スピンは回転数が可変であるモータにより実現し、その際に模型は電磁石によって保持されている。先に述べた必要性から、模型から機構を遠ざけるためバネを用いてスピン機構を実験筐体側へ引き上げる。また、模型の回転数が高い場合、動きの変化が大きいので、その挙動を観測するにはフレームレートの大きいカメラを使う必要がある。そのため、本実験では単体、低解像度で 120fps で撮影が可能なカメラを使用する。これらの機器を用いた予備実験の様子を図 4 に示す。図 4 は上下 2 か所から模型を撮影し、模型を機構から切り離した際の様子である。図 4 で膜模型は透明で判別が難しいため、その形状をドットで縁取って表現している。この予備実験より、観測系の正常動作を確認し、機構設計時には模型切り離しと機構移動の両者の命令タイミングに注意を払う必要があるという重要な知見が得られた。

実験 2 の予備実験は、気体の充填方法に関して膨張式救命胴衣で使われているような小型のポンペ等の使用について、コンテスト管理者と相談した後に行う予定である。

5. 実験装置概要

実験装置の説明は 4. を参照のこと。

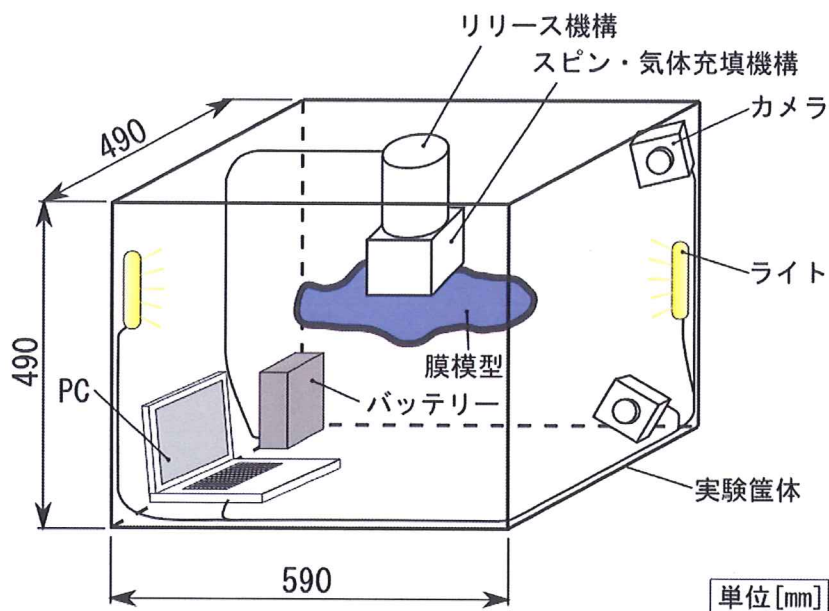


図 1 実験装置全体 概略図

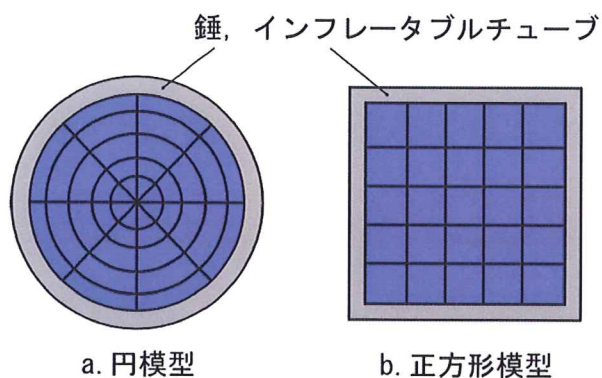


図 2 膜模型 概略図

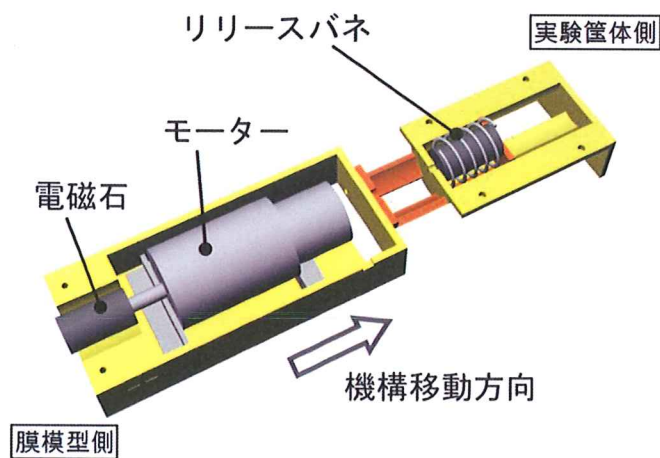


図 3 予備試験スピン・リリース機構 概略図

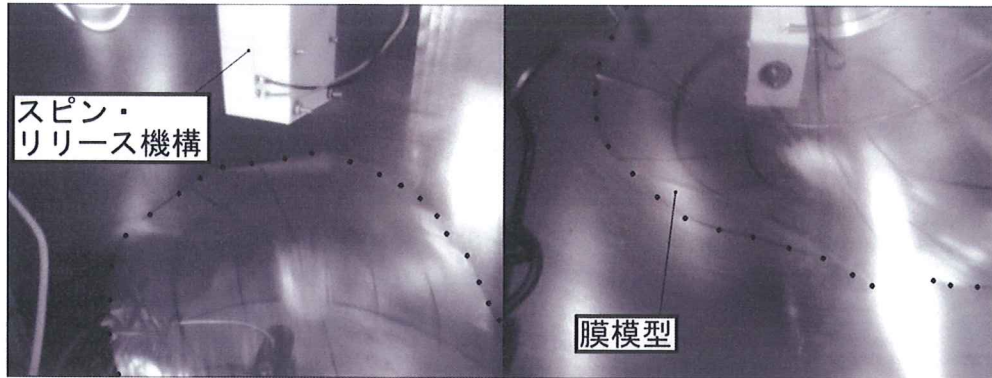


図4 予備実験

6. 実験装置のサイズ／重量概算

- ▶ サイズ：幅 590mm、奥行 490mm、高さ 490mm
- ▶ 総重量：12kg
 - ・ 実験筐体 - 6.5kg
 - ・ ノート PC - 2.5kg
 - ・ カメラ (2台) - 0.5kg
 - ・ ライト (2台) - 0.5kg
 - ・ リリース・スピン・気体充填機構 - 1.5kg
 - ・ ケーブル等 - 0.5kg

7. 必要な電源容量概算

- ▶ 必要電源容量：170W
 - ・ データ取得用 PC - AC100V、1.7Amp [170W]

8. 実験支援装置の利用要望

実験開始信号 (ない場合も対応可能)

9. 危険物等の搭載の有無

無

10. 実験実施時の航空機への搭乗希望有無

有

11. 役割分担

- ・ 和泉 有祐 - 全体取りまとめ、観測システム設計・製作
- ・ Khurana Shashank - スピン等機構設計・製作
- ・ 渡辺 保真 - スピン等機構設計・製作
- ・ 濱崎 勝俊 - 観測システム設計・製作
- ・ 吉田 昌史 - 膜模型設計・製作
- ・ 本間 直彦 - アドバイザー

以上は、実験機器の開発における各コンポーネント責任者の目安であり、実際の製作などは全員で行う。

12. その他特記事項

実験機器の開発の難しさから、メンバーの人数は比較的多いが、実験時に作業スペースで準備を行う人数は3名程度に絞ることが可能である。また、インフレーターブル気体充填においてポンベを使うという方法が法令に抵触する場合、他の充填方式への変更が可能である。