

第 8 回航空機による学生無重力実験コンテスト（速報）

実験テーマ： 将来の宇宙利用を見据えた膜面展開特性に関する研究

実験チーム： 東京大学 チームMMAGY

和泉 有祐, Khurana Shashank, 本間 直彦, 濱崎 勝俊,
渡邊 保真, 吉田 昌史, 鈴木 宏二郎(支援教員)

1. 目的

近年、柔構造大気突入機や大型宇宙構造物などでの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展開挙動であり、これを明らかにするために本実験ではまず、大気圧、無重量環境下における膜面展開挙動特性を定性・定量的に調べる。

2. 実験方法・装置

[実験方法]

本実験では、実験 1 として膜模型の回転(スピン)で生じる遠心力による展開の観測、実験 2 としてインフレータブルトラスによる膜模型の展開の観測を行う。この観測は、実験筐体に設置された 4 台のカメラで行う。ここで得られる映像を元に立体視を行い、膜面の形状を PC 上に再構成する。

1) 実験 1—スピン展開

実験 1 ではスピンによる膜展開挙動を観察する。この実験では実験筐体の天板に設置されたモータによって膜模型を回転し、この模型を保持するアームを開くことで無重量状態でのスピン状態を実現し、これを観測する。実験パラメータとして、PWM 制御されているモータのデューティ比を 0.3, 0.5, 0.7 と変化させ、3 種類のスピンレートについて比較する。これは 1~10Hz 程度のスピンレートに対応する。膜模型は、図 2 に示すようなフレア角を持つ柔構造大気突入機を模擬したものを使用する。

2) 実験 2—インフレータブルトラス展開

実験 2 ではインフレータブルトラスによる膜展開挙動を観察する。これは模型を保持するアームを開いて模型を無重量自由状態とし、模型に設置されたポンペのバルブを開くことでインフレータブルトラスへ気体充填を行い、膜面を展開する。ここで、充填気体は空気である。実験パラメータとして、2, 3 気圧の 2 種類のポンペ圧力で、ポンペを壁面に固定した状態、完全な自由状態

での展開を比較する。

[実験装置]

各実験装置は図1に示すような閉じた実験筐体内に設置される。この筐体内に、4台のカメラとライトを設置し膜模型の挙動を撮影、これをPCへ記録する。

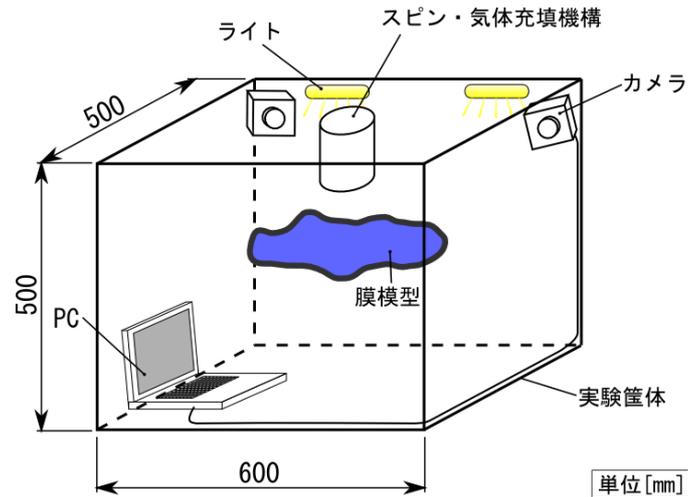


図1 実験筐体概略図

図2, 3に実験で使用した膜模型を示す。それぞれ、直径200mm程度、膜面上には立体視用にマーカを配している。材料は、パラシュートに使われる軽量で薄いものを使用した。膜面の重量はスピン模型で約1g、インフレータブル模型で約5gである。スピン膜模型の膜面はフレア角60°の円錐形をしている。インフレータブル膜模型の膜面は平らで、図3のバルブを開くことでポンベからインフレータブルトーラスに気体が充填される。

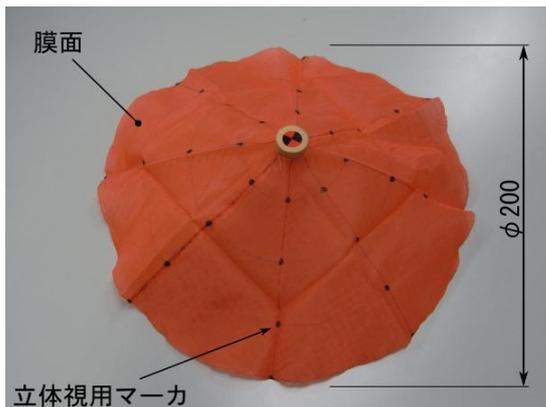


図2 スピン膜模型

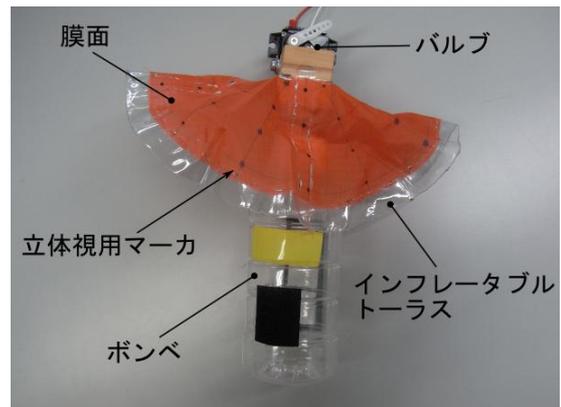


図3 インフレータブル膜模型

3. 実験結果

1) 実験1ースピン展開

スピン展開実験では、無重量状態での実験機器操作の困難さから、パラボリックフライト実験で

得られた解析可能な結果は 1 ケースのみであった。また、この 1 ケースも有効な実験時間が短く解析が困難であるため、現在、地上試験を行いながら詳細な解析を行っている。

2) 実験 2—インフレーターブルトラス展開

インフレーターブルトラス展開実験では、ポンベ圧 3 気圧で、ポンベを壁面に固定した状態と完全に自由である状態での展開に成功した。ここでは、自由状態、ポンベ圧 3 気圧での展開についての解析結果を示す。

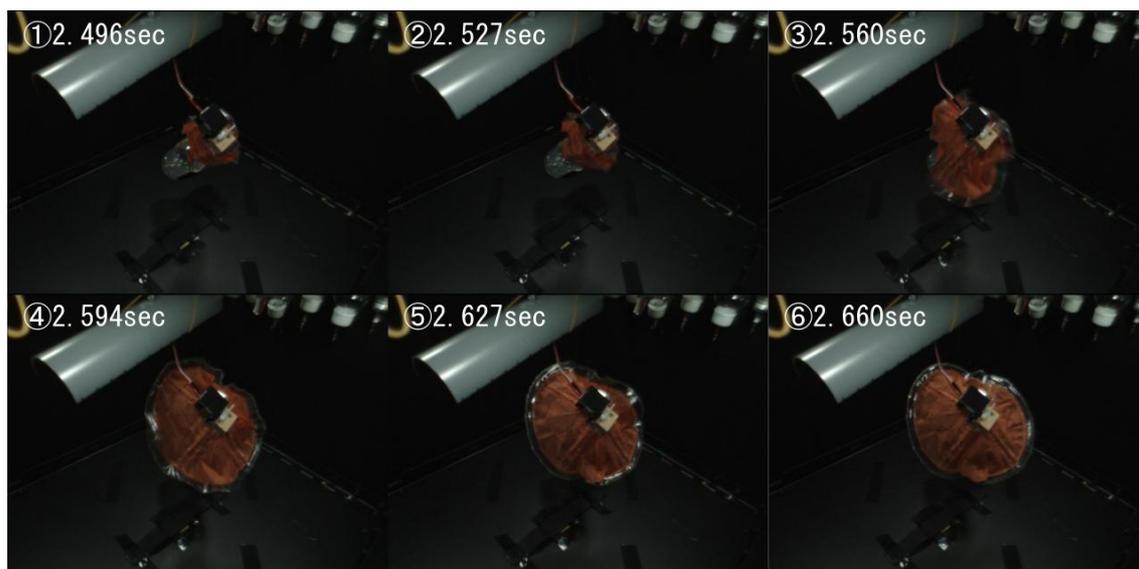


図 4 インフレーターブル展開

図 4 に自由状態、ポンベ圧 3 気圧におけるインフレーターブル展開の様子を示す。図 4 より、①では膜面は気体充填装置に巻きつけられた初期状態で、①と②の間にバルブが開かれ展開を始める。②～④で徐々に展開し、④ではほぼ元の円形状まで戻っている。その後は外縁のインフレーターブルトラスとポンベの圧力が同程度となるまで気体充填が続き、ドーナツ型のトラス形状が形成される。このとき、完全な展開状態に要する時間は約 0.2sec であり、おおよその円形状まで展開するのに要した時間は約 0.1sec であった。インフレーターブルを利用した膜展開の問題点として、展開時には膜の広がり非同期性などから模型に擾乱が発生することが予想された。しかし、本実験条件下では膜の広がり非同期性も小さく、ほぼ擾乱の発生は見られなかった。これは、インフレーターブル展開方法が宇宙のような無重量環境における有用性を考えるための材料の一つとなる。

今後は、この模型が実スケールではどのような構造物に相当するかを考えることで、ここで得られた結果の応用可能性について検討したい。また、他の実験結果についても上記のような定性的な解析を進めた後に、これらの展開特性を定量的に評価するために、立体視により膜面の形状再構成を行う予定である。

4. まとめ

本実験では、宇宙での膜面の工学利用を見据えて、無重量状態で円形膜の展開実験を行った。展開方法としてスピン、インフレータブルトラスの2種類を採用し、それぞれスピンレート、ポンベ圧力を実験パラメータとした。スピン展開実験の実験結果は現在、解析を行っている。インフレータブルトラス展開実験では、自由状態での膜面の展開挙動を観測することができ、当初予想していた展開による模型の擾乱はほとんど発生しないという結果が得られた。これは、展開手法としてのインフレータブル利用の将来性を示唆するものである。今後は、他の実験結果を含め、定性・定量的解析を進める。

謝辞

無重量環境という特殊な環境での実験機会はなかなか得られるものではありません。これを学生実験コンテストという形で提供していただいた(独)宇宙航空研究開発機構をはじめ、実験までに様々な形でお世話になった(財)日本宇宙フォーラムの木暮様、市川様、実験場で多大な協力をいただいた(株)ダイヤモンドエアサービスの皆様に深く感謝の意を表したいと思います。そして、実験準備の要所要所での的確なアドバイスをいただいた鈴木宏二郎教授にも深くお礼申し上げます。