

A4 円筒 CFRP ブームを用いた巻き付け型展開膜構造の検討

古谷 寛 (東工大), 佐藤泰貴 (東工大), 坂本 啓 (東工大), 名取通弘 (早大)

Hiroshi Furuya(Titech), Yasutaka Satou(Titech), Hiraku Sakamoto(Titech), M.C. Natori(Waseda U.)

1. 序論

宇宙用展開膜構造は、IKAROS に代表される遠心力を用いたスピン展開方式が大型膜の展開には有効である。しかし、小型から中型の展開膜構造では、伸展ブームを用いた展開方式が膜に必要な張力を与えることができ有利になる。また、超小型衛星から小型衛星にデオービット膜や薄膜太陽電池フィルム等を展開する場合には、展開機構が不要な、弾性エネルギーによって自己伸展可能なブームの利用が有効となってくる。欧米ではソーラーセイル膜は伸展ブームあるいはインフレーターブームによる展張方式が主であるのに対し、我が国では、伸展ブームを用いた展開膜構造に関する研究が十分ではなく、地上実験での設計検証が極めて難しく、宇宙実証された例は世界的にも少ない状況である。したがって、今後の小型衛星を用いた多様な用途への応用のためには、伸展ブームを用いた展開膜の研究が必要と考えられる。

このため、超小型衛星から小型衛星に搭載する展開膜構造として、精度をそれほど要しないデオービット展開膜から、ある程度の精度を要する薄膜太陽電池展開フィルム、更には、合成開口レーダーアンテナなどの高精度な応用にもスケラブルに対応可能な、ブーム・膜展開構造について検討し、小型衛星を用いた宇宙実証を目標としてブーム・膜展開構造の実現に必要な設計・解析手法の構築が必要である。

本研究では、まずブーム・膜展開構造の概念モデルの試作検討ならびに、展開実験を実施することを通して、その問題点を明らかにすることを目的とする。

2. ブーム・膜構造システムの検討

3. 1. 円筒 CFRP ブーム

自己伸展可能なブームとして、本研究では三軸織円筒 CFRP ブーム(Fig. 1)を用いることを検討する。本ブームは、三軸織の CFRP ブームを軸方向に半分に切断した半円形状のブームを樹脂フィルムで繋いで円筒形にしたものである。この結果、円筒ブームを折り畳む際には樹脂フィルム部でフラットに押しつぶすことが可能になり、写真に示すように巻き付け折り畳みが可能になる。

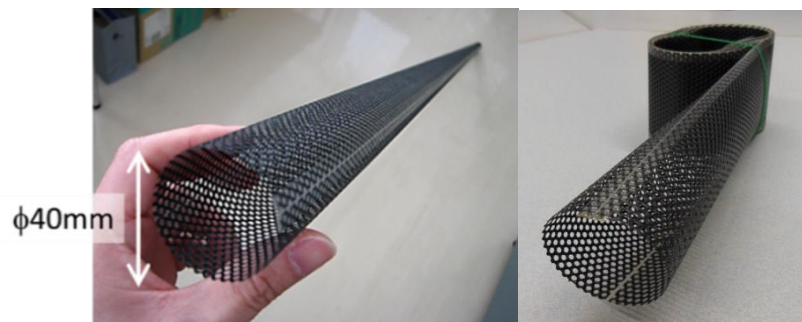


Fig. 1 三軸円筒 CFRP ブーム

この三軸織円筒 CFRP ブームにより，自己伸展可能なブームが実現可能になるが，十分な展開力と地上実験における横倒れ座屈強度向上を図るため，軸方向の両側面にコンベックステープを貼り付けた，「コンベックス強化ブーム」ならびに「三軸織ブームに一軸繊維強化ブーム」を試作し，試験を行う。



(a) コンベックス強化ブーム

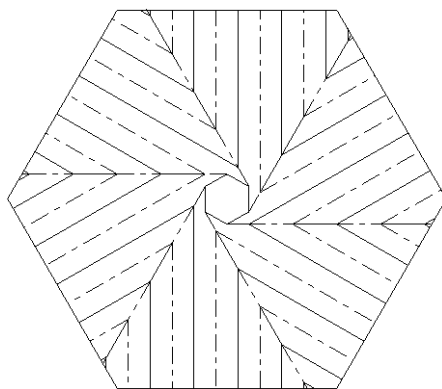


(b) 一軸繊維強化ブーム

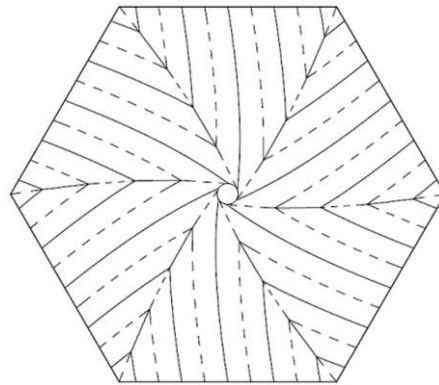
Fig.2 強化型三軸織円筒 CFRP ブーム

2. 2. 折り畳みパターン

展開膜の折り畳み方法については，利用するミッションによって要求が異なることが考えられる．特に高精度なミッションへの適用の場合，薄膜太陽電池，アンテナ素子，ハーネスなどの搭載するデバイスを効率良く貼り付けるためには，折り目数を減らすことが重要な課題となる．これを解決する方法として，巻き付け折り畳みをベースとした折り畳みが考えられる．これについては，Skew fold[1]ならびに Spiral fold[2]をベースとした折り畳みを検討する．



(a) Rotationally skew fold [1]



(b) Spiral fold [2]

Fig. 3 膜の折り畳みパターン

2. 3. ブーム・膜構造の折り畳みパターン

四角形膜をブーム展開する場合の折り畳みの一例を示したものが，Fig.4 である．

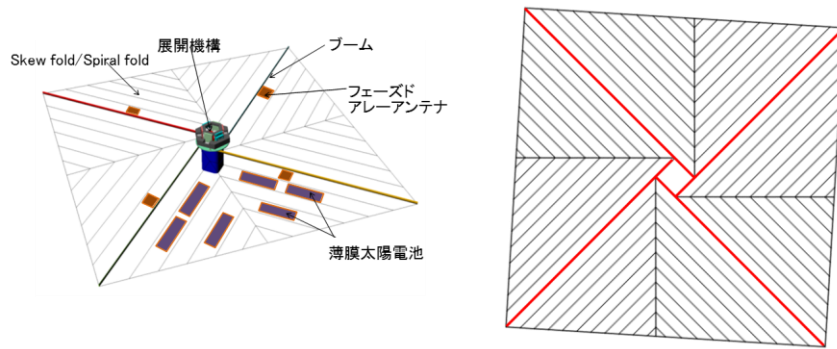


Fig.4 ブーム・膜展開構造の折り畳みパターン(その1)

この図において、赤線は伸展ブームの配置を示しており、ブームに沿って折り目を形成することで、skew fold や spiral fold での折り畳みをブームと一体で実現するとともに、折り畳んだ際にブームが膜を保持する機能も担えることになる。しかし、その一方で衛星構体面の方向がブーム伸展方向や膜と干渉する可能性があるため、ミッションによっては対応が困難になることが考えられる。

以上の問題点を解決するために、基本的に skew fold や spiral fold をベースとしながら、衛星構体の面に対して対称配置となる折り畳みパターンを設計した。

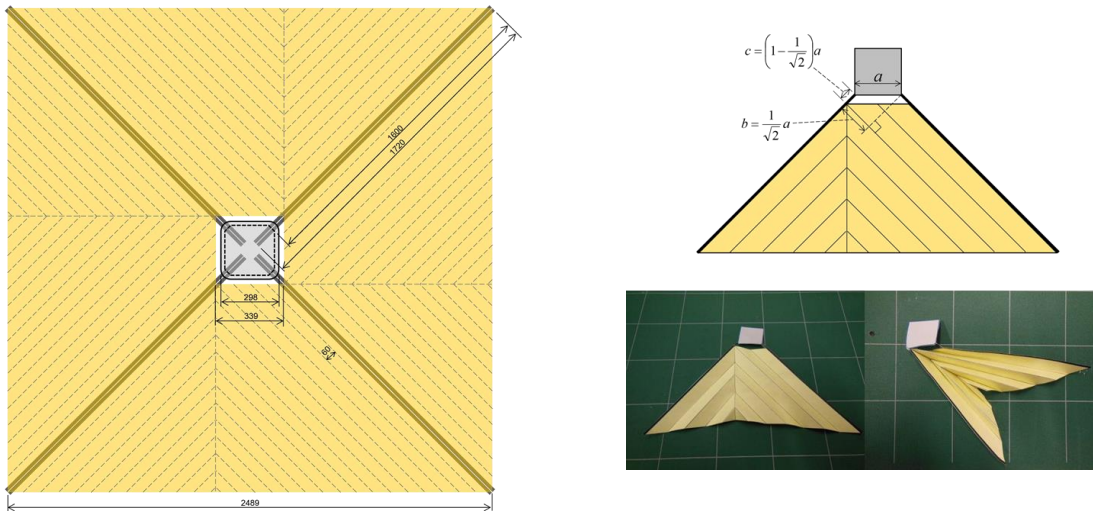


Fig.5 ブーム・膜展開構造の折り畳みパターン (その2)

3. 試作モデルによる検討

3. 1. 加振試験による保持性能

一辺 1.5m の正方形ブーム・膜構造の試作を行った。Fig.6 は展張状態ならびに収納状態を示したものである。ブーム・膜構造の収納時は 4 本のピンで保持され、小型衛星の実際の加振試験レベルに対して十分な保持力であることを検証した。また、加振実験では、ブームによる膜の保持により、膜のこぼれ現象が起きないことを確認した。



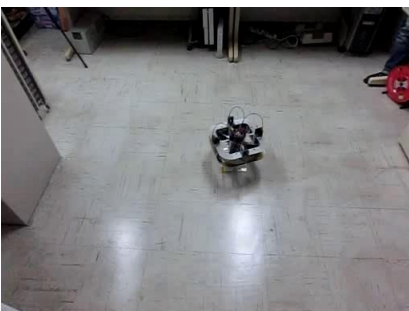
(a) 展張状態



(b) 収納状態 (フレンジカバー無し)

Fig.6 ブーム・膜試作モデル

3. 2. 円筒ブーム・膜複合構造モデルの展開実験



(a)



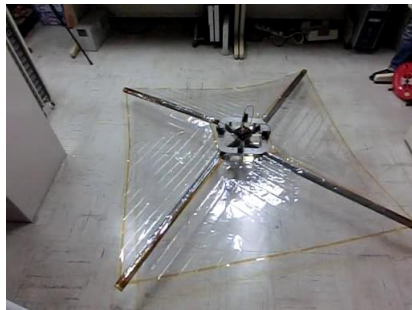
(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

Fig.7 一軸繊維強化ブームを用いたブーム・膜展開実験

Fig.7 はブーム・膜構造の展開実験の展開過程を示したものである。一軸繊維強化ブームを用いることで、1m長の三軸円筒ブームを用いて1.5m四方の膜を重力保障なしで自己展開することが可能であることが示された。このサイズ以上の伸展ブームの場合、重力保障なしでは待機による変形が著しくなり、再現性の良い展開を行うことは不可能となった。

3. 3. ホバークラフト式重力補償装置の検討

本研究では、重力保障装置として、ホバークラフトを用いた方式を行った。これは、ブーム・膜展開構造の場合、質量が極めて小さいため、吊り下げ式重力保障で発生する水平力が展開力に影響しやすいこと、エアベアリング方式における空気チューブの剛性がブーム剛性に影響しやすいことによるものである。Fig.8 は試作したホバークラフト式重力保障装置によるブーム展開実験を示したものである。

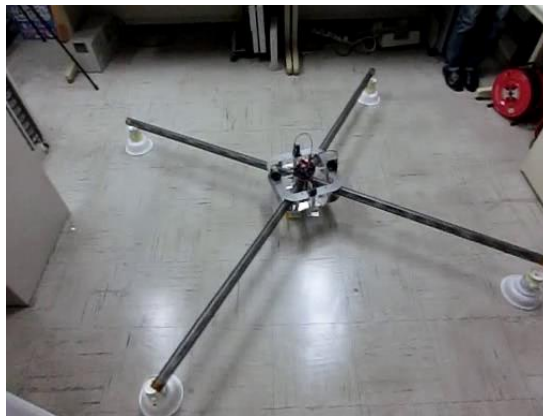


Fig.8 ホバークラフト式重力保障装置を用いた展開実験

4. 結論

超小型衛星～中型衛星の将来のミッション要求に対応可能なブーム・膜展開構造の提案を行った。具体的には、円筒 CFRP 伸展ブームを用いた巻き付け折り畳み方法を検討し、実験モデルの試作を通して、膜とブームの一体収納・保持ならびに自己展開可能であることを実証するとともに、保持解放機構ならびにホバークラフト式重力補償装置について、試作を通して検討を行った。

今後は、数値シミュレーション、重力補償展開実験、要素実験の検討を行い、数値モデルの高精度化を行うとともに、2.5mx2.5m モデルの展開実験を通して、大型化の問題点を探る予定である。

謝辞

本研究は日本学術振興会・科学研究費補助金・基盤研究(B) 25289305 (H25-H27) の助成によるものである。また、JAXA ソーラーセイル構造専門部会、室蘭工業大学・勝又暢久先生、青山学院大学・鳥阪綾子先生、サカセ・アドテック㈱の御協力をいただきました。心から感謝いたします。

参考文献

- [1] Hiroshi Furuya and Tadashi Masuoka: Concept of Rotationally Skew Fold Membrane for Spinning Solar Sail, CD-ROM Proc. 55th International Astronautical Congress, IAC-04-I.1.05, Vancouver, pp.1-5, Oct.4-8, 2004.
- [2] M.C. Natori, H. Watanabe, N. Kishimoto, and K. Higuchi, Folding Patterns of Deployable Membrane Space Structures Considering Their Thickness Effects, 18th Int. Conf. on Adaptive Structures and Technologies, Ottawa, pp.1-9, Oct. 2007.
- [3] Hiraku Sakamoto, Hiroshi Furuya and Yasutaka Satou, M.C. Natori, Akihito Watanabe, Nobuyoshi Kawabata, and Ryoji Sakai, Nobukatsu Okuizumi, Osamu Mori, Yoji Shirasawa, and Moto Takai, Nobuhisa Katsumata, Ayako Torisaska, Ryu Funase, "Origami-Based Membrane Storage and Deployment Technology for De-Orbiting Satellites," 64th Int. Astronautical Congress, Beijing, IAC-13-B4.6A.4., pp.1-10, Sept. 23-27, 2013.