

バイコンベックスブームを用いた膜面付き自己伸展機構の研究

Research on self-extension system using Bi-Convex booms with membrane surface

宮崎・山崎研究室

Miyazaki・Yamazaki Laboratory

兵藤 旦

Dan Hyodo

In recent years, large space structures such as Space Solar Power Systems (SSPS) has been proposed. For large space structures, high efficiency for storage and lightweight member is required. Under such requirement, engineering feasibility of convex tape has studied, and, bi-convex booms combined with 2 convex tapes and braid has been proposed. In this study, a self-deployable truss using bi-convex booms with film surface is proposed and its conceptual model is developed and evaluated.

1. 緒言

近年、宇宙太陽光発電システム (Space Solar Power Systems : SSPS) 等にみられる数 km に及ぶ大型宇宙構造物の検討がなされている。2012 年には無線送電モジュールだけで 1km にも及ぶ SSPS である SPS-ALPHA (Figure 1) の提案がなされている^[1]。国内では、2013 年の宇宙基本計画において、将来の宇宙開発利用の可能性を追求する 3 つのプログラムのひとつとして、宇宙太陽光発電研究開発プログラムが掲げられた^[2]。

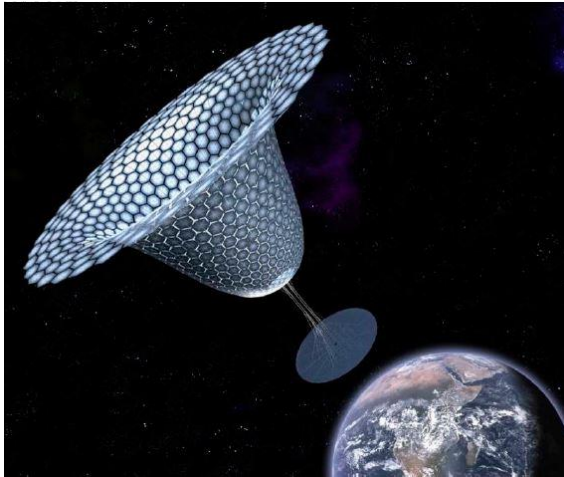


Figure 1 SPS-ALPHA^[2]

しかし技術的な課題として、大型構造物を宇宙空間へ輸送し組立て、維持する技術等が挙げられており、既存の技術では困難とされている。そんな中、収納性や比剛性などに優れた組紐被覆バイコンベックス (Braid Coated Bi-Convex : BCON) が提案され^[3]、大型宇宙構造物への応用が期待されている。BCON ブームを用いた概念検討モデルとしては、7Nodes 12Booms(7N12B)モデル等が製作されてきた。

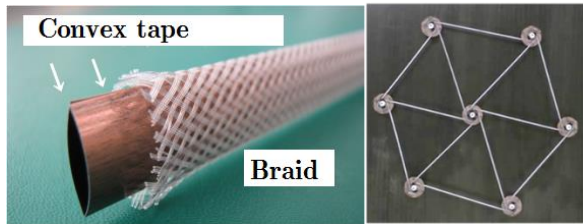


Figure 2 BCON boom (left), 19N12B model (right)^[3]

また、太陽光を SSPS の太陽電池面に導くための反射鏡としての構造適用性も検討されており、今後はノード、ブーム共に

数を増やし、反射膜の付いている大型の展開構造の検討が不可欠である。

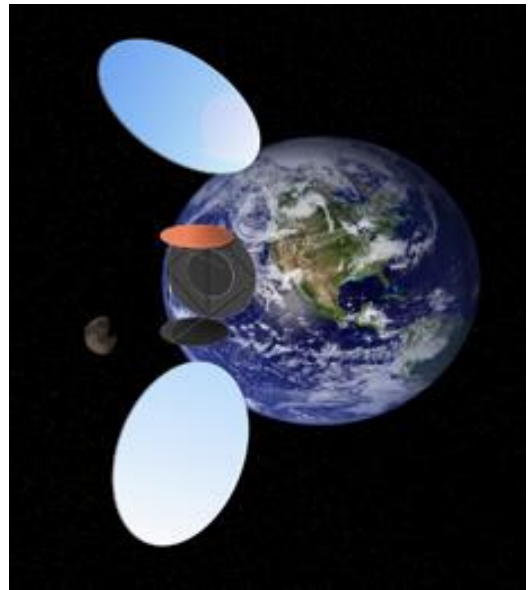


Figure 3 M-SSPS^[4]

そこで本研究では BCON ブームを用いて、膜面を取り付けた展開実験モデルを製作し、展開実験により、その展開を実証することとする。

2. 展開実験モデル

2.1 展開機構概念

本実験では用いる展開機構については、3N3B の自己伸展トラスを用いることとする。

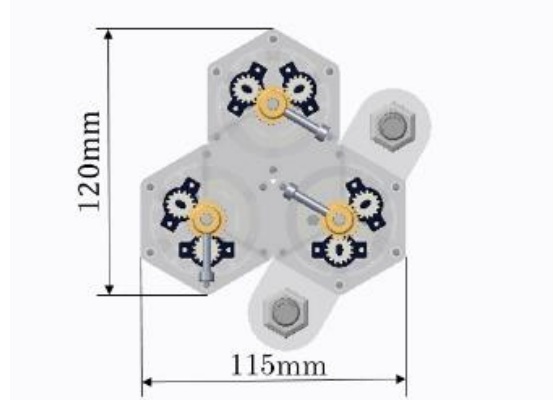


Figure 3(a) Stowed 3N3B truss model

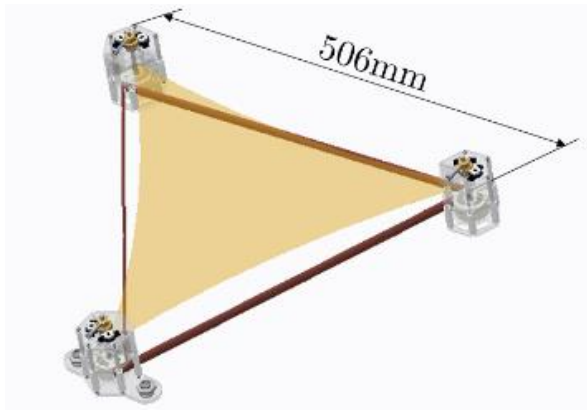


Figure 3(b) Deployed 3N3B truss model

膜面の取り付け方法として、まずノードを正六角形の亚克力板を三枚使い、それぞれ top, middle, bottom とし、2層にする。middle, bottom から成る層をコンベックステープの収納部とし、top, middle から成る層を膜面の収納部とする。コンベックステープの収納部は既存の設計のまま、膜面の収納部は1つのノードに対し2つの仕切りがあり、ノードが3つ集まり収納されている状態だと、膜面は六角形の仕切りによって囲まれる。そしてノードの中心を通る寸切りねじにスペーサーを通し、そのスペーサーに膜面の頂点を付ける。

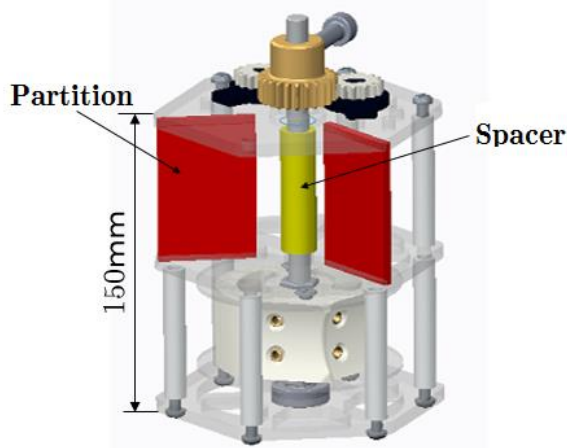


Figure 4(a) Spacer and partition of node



Figure 4(b) Spacer and partition of 3N3B truss model

次にスペーサーへの膜面の取り付け方法は、まず Figure 5 のようにスペーサーの側面に細い糸をきつく貼り付ける。そして

その糸とスペーサーの間にゴムを通し、そのゴムの両端を膜面の頂点に貼り付ける。

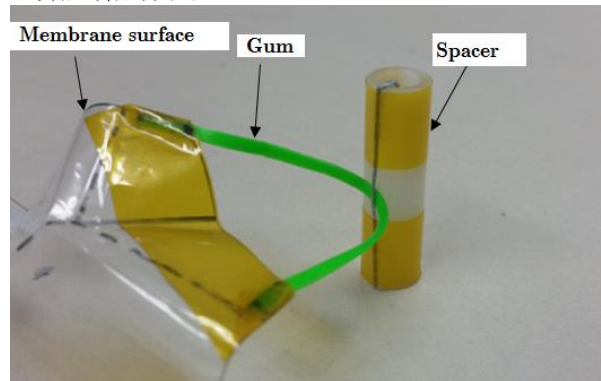


Figure 5 Spacer in which a membrane surface was attached

この取り付け方法では、モデルの展開前は膜面が六角形の仕切りに囲まれているため、収納性に優れ、膜面がノードやブーム等に挟まる事が無く展開に干渉しない。また膜面はスペーサーに取り付けているため、ノード及び寸切りねじと独立して回転が可能なので、展開への影響が少ないと考え、この方法を導入した。

2.2 展開機構仕様

3N3B モデルに使用した BCON ブーム、ノードは下の Table 1,2 の通りである。

Table 1 Specification of BCON boom

長さ	440 mm
板厚	0.10 mm
曲率半径	16.62 mm
主要材料	bi-convex : SUS301 組紐 : PFA モノフィラメント
ブーム総質量	13.26 g

Table 2 Specification of Node

ノード形状	正六角形
ノードサイズ	長辺 : 66.0mm 短辺 : 57.2mm 高さ : 150mm
伸展時ノード軸間距離	440mm
質量 (ブームは除く)	203g
主要材料	ケース : アクリル センターハブ : PLA 樹脂

また、各ノードにはセンターハブの回転を抑制するため、ロータリーダンパーをつけてある。

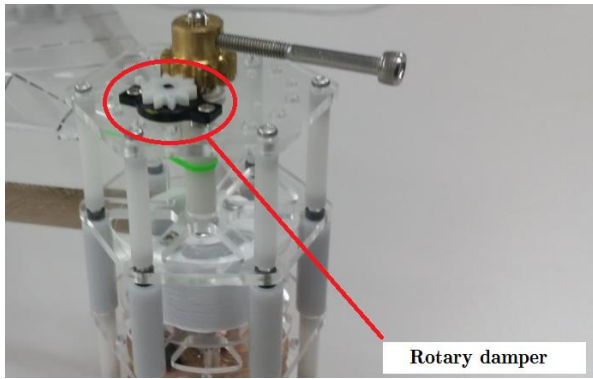


Figure 6 Rotary damper

使用したロータリーダンパーの定格トルク値は下の Table 3 の通りである。

Table 3 Rated torque of rotary damper

定格トルク値[N・m]	ロータリーダンパー取り付け個数[個/node]
10×10^{-3}	3
4.5×10^{-3}	3
2×10^{-3}	3

使用した膜面は一辺 435mm の正三角形膜で、各頂点から 30mm のところで切り取ってある。切り取った辺の端にゴムを貼り付ける。折り方はらせん折りを採用した。

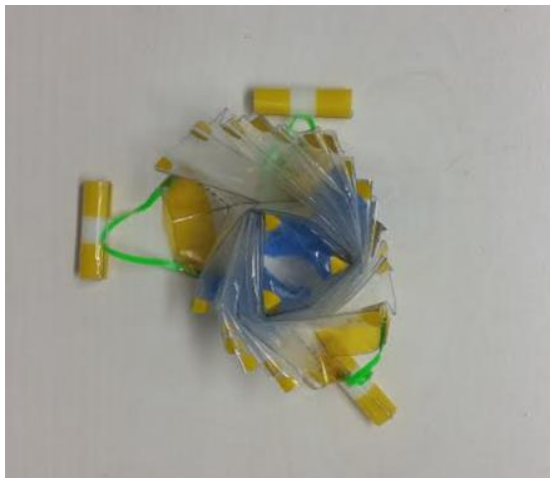


Figure 7(a) Stowed membrane surface



Figure 7(b) Deployed membrane surface

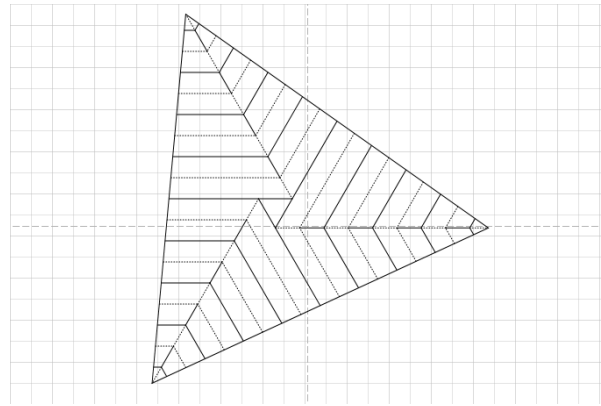


Figure 8 Spiral hold

Table 3 Specification of membrane surface

膜形状	正三角形
膜サイズ	長辺 : 435mm 短辺 : 376.7mm
厚さ	25 μ m
材料	ポリエステル

3. 展開実験

3.1 地上実験結果

制作した膜面付き 3N3B モデルの地上での展開実験を行った。その様子をビデオカメラにて撮影し、その映像をコマ送りで切り取り、静止画にしたものを下の Figure 9 に示す。

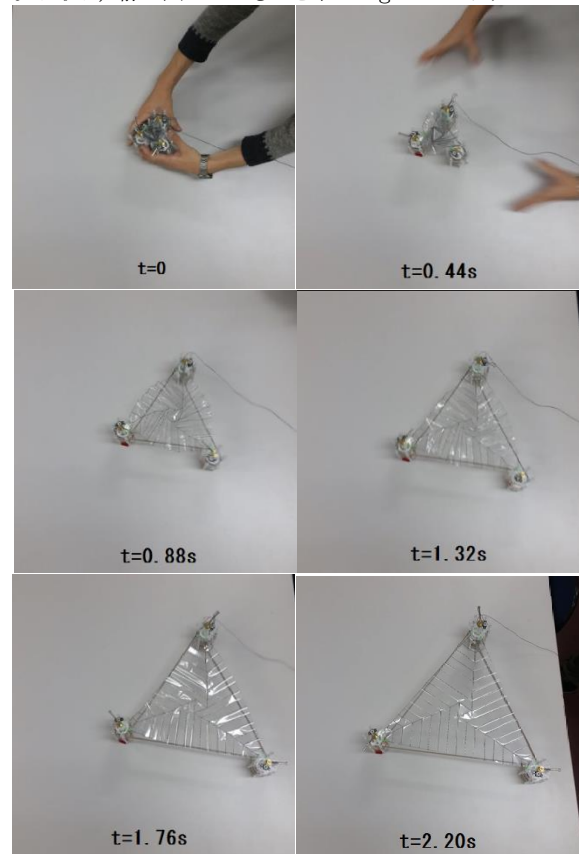


Figure 9 Deployment process

3.2 考察

今回、膜面付き 3N3B モデルの地上実験では、解放からおよそ 2.2s で展開するという結果を得た。撮影映像を見ると、およそ 1.5s から展開速度が急に遅くなり、最後に一気に展開した。これは、膜面の折り目及びゴムによる抗力が、展開の妨げとなったと考える。折り目による抗力は、折り目が伸びた時に大きくなり、またゴムによる抗力も、ゴムが伸びた分だけ大きくなる。よって抗力は展開の終盤で最大となり、展開速度が急に遅くなったと考えられる。

この膜面の取り付け方法ではノード、寸切りねじの回転による膜面の歪みは見られなかった。また膜面がノードやブーム等に挟まる事もなく、展開は完全に終了した。

4. 今後の展望

今後ゴムの引張力、折り目による抗力等を計算し、膜面による展開拘束力を把握する。その後航空機実験にて、微小重力下での展開挙動計測を行い、特徴点追尾によって膜面の挙動を 3 次元位置復元し、膜面の平面度を評価する。その後膜面の折り方の違いによる展開拘束力の変化、膜面の形状（正三角形膜の辺上を弧上に切り取る）による平面度の向上を評価していくことが求められる。

5. 結言

本研究では、以下の結果を得た。

1. BCON ブームを用いて 3N3B の膜面付き自己展開トラスを製作し、自己展開することを確認した。これにより、膜面付き自己展開トラスの実現可能であることが示された。
2. 膜面は展開に干渉することなく、また展開終了後歪みが少なかったため、本研究での膜面取り付け方法の適用性を確認した。

参考文献

- [1] John C. Mankins, et al., "SPS-ALPHA: The First Practical Solar Power Satellite via Arbitrarily Large Phased Array", AIAA 2012-3978, 2012
- [2]内閣府 宇宙開発戦略本部 宇宙基本計画, 2013
<http://www8.cao.go.jp/space/plan/plan.pdf>
- [3] 渡邊秋人, 他, 「組紐を被覆した伸展構造物の検討」, 第 56 回宇宙科学技術連合講演会講演集, JSASS-2012-4496, 2012
- [4]JAXA 宇宙航空研究開発機構 宇宙太陽光発電システム (SSPS)について
<http://www.ard.jaxa.jp/research/hmission/hmi-ssps.html>