



形状記憶合金を用いた組紐被服ブームの展開挙動評価

メタデータ	言語: jpn 出版者: 日本機械学会 公開日: 2016-05-31 キーワード (Ja): キーワード (En): SMA-Braid Coated Bi-Convex tape Boom, Deployment Behavior, Deployment Control 作成者: 貝森, 政明, 勝又, 暢久, 樋口, 健 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10258/00008916

形状記憶合金を用いた組紐被服ブームの展開挙動評価

その他（別言語等） のタイトル	Deployment Behavior Evaluation on Braid Coated Bi-Convex Tape Booms using Shape Memory Alloys
著者	貝森 政明, 勝又 暢久, 樋口 健
雑誌名	スペース・エンジニアリング・コンファレンス講演 論文集
巻	2013
号	22
ページ	P11-1-P11-3
発行年	2013-12-20
URL	http://hdl.handle.net/10258/00008916

形状記憶合金を用いた組紐被服ブームの展開挙動評価

Deployment Behavior Evaluation on Braid Coated Bi-Convex Tape Booms using Shape Memory Alloys

貝森 政明・室蘭工業大学

Masaaki KAIMORI, Muroran Institute of Technology

勝又 暢久・室蘭工業大学

Nobuhisa KATSUMATA, Muroran Institute of Technology

樋口 健・室蘭工業大学

Ken HIGUCHI, Muroran Institute of Technology

Key Words: SMA-Braid Coated Bi-Convex tape Boom, Deployment Behavior, Deployment Control

論文要旨

1. 緒言

ソーラーセイル「IKAROS」に代表される軽量かつ高い収納効率の宇宙展開膜面構造物が近年盛んに研究されている。本研究では、ソーラーセイルやデオービット機構など展開膜面構造に応用可能な展開ブームに着目した。展開ブームの研究に際し、コンベックステープ2枚を凸形状に組み合わせ楕円形状の断面を有し、収納時の弾性変形エネルギーを展開力として応用した BCON (Braid Coated Bi-Convex tape) Boom^[1]を参考にした。このブームの特徴は、収縮性と伸長性に優れた組紐によって2枚のコンベックステープの周辺を拘束している点が挙げられる。展開時の膜面形状が正方形で、かつブームを収納する中心構体の形状も正方形としてデザインされている研究^[2]が多く見られる。中心構体が四角形の場合、収納時は頂点でのみ折り曲げられるため、ブーム全体が弾性体である BCON Boom においては展開力のロスが懸念される。

そこで本研究では四角形の中心構体に収納することを前提として、BCON Boom の利点を生かしつつ、軽量かつ展開制御が可能な「SMA-BCON Boom」を提案する。収納時の変形部にはのみコンベックステープ同様の曲率を持った形状記憶合金 (SMA) の板材を用い、四角形の辺に沿った直線部分は軽量化ブームによって設計する。また SMA の形状回復力を展開力とするため、SMA の温度変化を制御することで BCON Boom では困難だった展開制御が可能となる。

以上を背景として、今回は SMA-BCON ブームの概念検証を目的に、実験室規模の概念モデルを製作し、展開実験により展開挙動の評価を行った。

2. 実験装置の設計及び製作

2.1 SMA-BCON ブームの製作

SMA-BCON Boom のコンセプトモデルの概要を Fig. 1 に示す。変形部には Ni-Ti 合金の SMA を使用し、中心構体の辺に沿った直線部には木材またはアクリルを使用した。SMA はコンベックステープのように曲率を持った断面で、長手方向には直線形状で形状記憶されている。その状態を Fig. 2 に示す。SMA と木材の接合は、Fig. 3 に示す寸法に加工し、SMA とは両面テープとカプトンテープで固定した。接合部の寸法は、曲げとねじりの簡易試験により寸法を決定した。

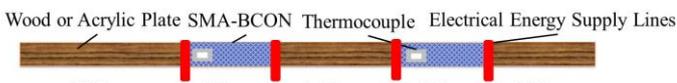


Fig. 1 Schematic illustration of conceptual SMA-BCON Boom

SMA の加熱は、直接通電することで行った。また展開時

の温度を計測するため、SMA 表面にシートタイプの熱電対を取り付けた。センサー等も含めた SMA 部全体を最終的に組紐で外側から拘束した。使用した組紐の初期状態と展張状態を Fig. 4 に示す。なお組紐の材質は、耐熱性に優れた PFA 繊維 (フッ素樹脂: 耐熱温度 200~300°C) である。完成した SMA-BCON Boom を Fig. 5 に示す。

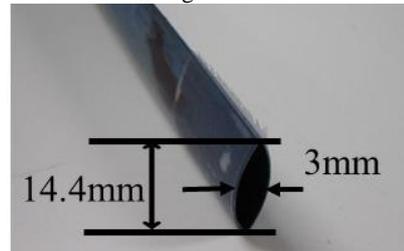


Fig. 2 Cross-section view of Bi-SMA

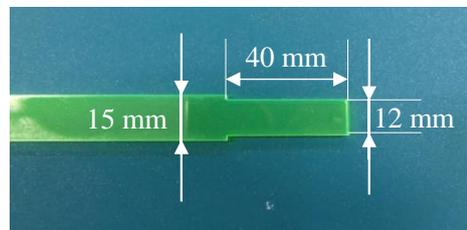


Fig. 3 Joint part design

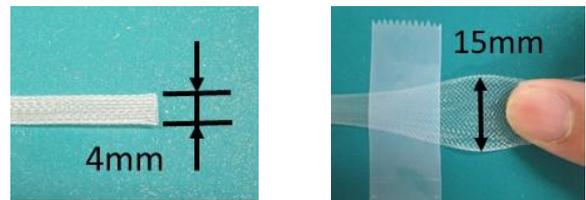


Fig. 4 The covering braid configuration

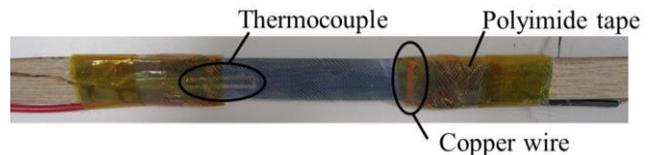
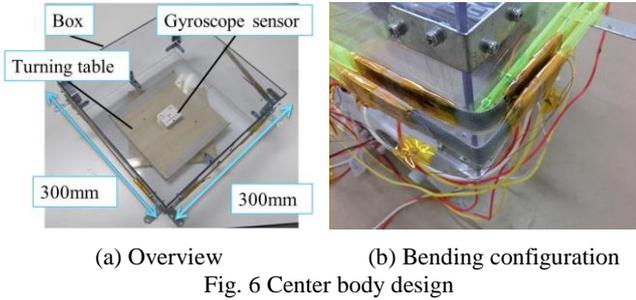


Fig. 5 Assembly drawing of SMA-BCON boom

2.2 中心構体の製作

ボックスと回転テーブルからなる中心構体を SolidWorks によって設計した。ボックス部分は塩ビ板 (板厚 3mm)、回

転テーブル部分はベニヤ板で製作し、中心構体が自由に回転できる状態と固定状態の両条件で実験できるように設計した。中心構体の概略と SMA-BCON Boom を巻きつけた状態を取り付けた状態を Fig. 6 に示す。



3. Bi-SMA Boom の基本特性評価

3.1 展開角度変化の計測実験

形状回復による展開挙動を把握するため、組紐被覆をしていない SMA を 2 枚組み合わせただけの Bi-SMA Boom に対して展開実験を行った。SMA をニクロム線で加熱し、時間変化に対する展開角 ϕ (Fig. 7) を計測した。実験装置の概略を Fig. 7 に示す。Bi-SMA Boom の初期状態は 90° であり、展開挙動の動画を一定間隔でキャプションした静止画から画像処理ソフトを用いて角度を計測した。

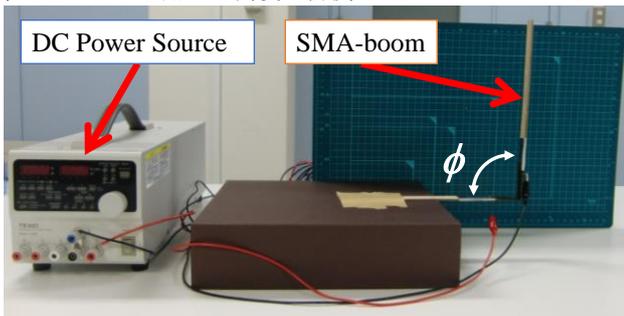


Fig. 7 Experimental devices of deployment test

横軸を時間、縦軸を Bi-SMA Boom の展開角 ϕ とした実験結果を Fig. 8 に示す。加熱開始から展開角は増加し、約 70s でほぼ直線状に変形した。本実験では、自重が展開をアシストするため、スムーズに展開が行われている。70~140s では、初期の凸断面形状の膨らみ方向とは逆方向に折り曲げられた、折り目の内側に位置する形状記憶合金の断面形状回復が行われた。ブーム全体の展開と同様の時間をかけてゆっくり形状回復が行われ、展開が完了した。この実験では曲げのみを対象としたが、中心構体に巻き付けた状態では重力によるねじり荷重も作用する。断面形状が収納により直線状となる (0~70s) でねじり剛性が低下するため、実際の展開ではこの状態に対する注意も必要となる。

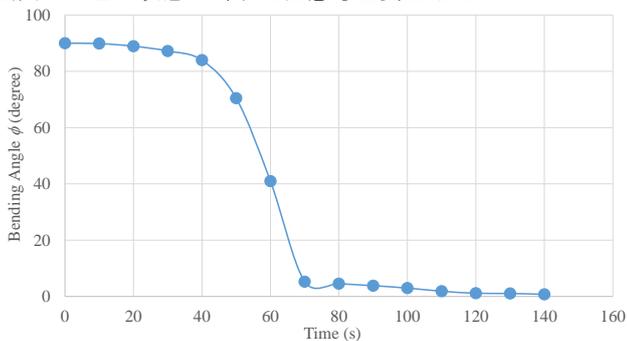


Fig. 8 Experimental result of deployment test

3.2 固有振動数の測定実験

形状回復時と通常時の曲げ剛性変化を把握するため、SMA が加熱状態 (オーステナイト相) と非加熱状態 (マルテンサイト相) における Bi-SMA Boom の固有振動数を計測した。実験装置の概略を Fig. 9 に示す。実験は、加熱時には 50mm の初期変位、非加熱時には 30, 50, 100mm の初期変位を与えることで自由振動させた。その振動をレーザー変位計により計測し、波形データを FFT 解析することで固有振動数を計測した。それぞれのケースに対して 5 回の実験を行い、その平均値を求めた。計測装置の設定を Table 1 に、実験結果を Table 2 に示す。

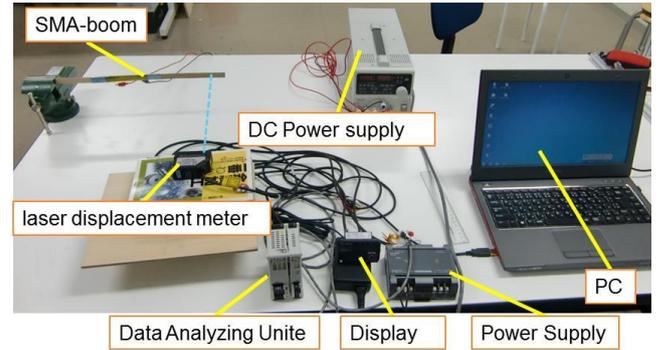


Fig. 9 Experimental device of vibration test

Table1 Experimental device setting

Boom length (mm)	Laser Meter Setting			Date Unit Setting	
	Output (V)	Sampling period (ms)	Average number	Sampling period (ms)	Sampling number
380	± 5	1	16	0.5	5000

Table2 Experimental results of vibration test

	Austenite Initial DSP 50mm	Martensite Initial DSP 30mm	Martensite Initial DSP 50mm	Martensite Initial DSP 100mm
Test No. 1	8	8	7.6	7.2
Test No. 2	8	7.6	7.6	7.2
Test No. 3	8	7.6	7.6	7.2
Test No. 4	8	8	7.6	7.2
Test No. 5	8	7.6	7.6	6.8
Average	8	7.76	7.6	7.12

加熱時 (オーステナイト相) と非加熱時 (マルテンサイト相) では、固有振動数に約 0.3 Hz の差異が生じた。また非加熱時においては、強制変位を 50mm 与えた場合で 0.4Hz、強制変位を 100mm 与えた場合で約 0.9Hz の固有振動数の差異が生じた。得られた固有振動数を元に、片持ちはりとして算出した見かけのヤング率を Table 3 に示す。

Table3 Calculation of the Young's modulus

	Austenite Initial DSP 50mm	Martensite Initial DSP 30mm	Martensite Initial DSP 50mm	Martensite Initial DSP 100mm
Eigen frequency [Hz]	8	7.76	7.6	7.12
Young's modulus [Pa]	7.79316E+11	7.33259E+11	7.03333E+11	6.17296E+11
Rate [%]	100	94.09	90.25	79.21

加熱時 (オーステナイト相) と非加熱時 (マルテンサイト相) を比較した場合、同様の初期変位 50mm を与えた場合では非加熱時にヤング率は約 10% 減少し、初期変位を 100mm にした場合には約 20% 減少することが計測された。しかし非加熱時で初期変位を 100mm 与えた場合には、目視ではあ

るが弾性域を超えていたように思われる。そのため初期変位が 100mm の場合は参考値である。

4. SMA-BCON Boom による展開実験

中心構体に収納した状態からの断続展開挙動を評価するため、展開実験を行った。4本のブームを直列に接続し、170W が常時供給される状態で展開させた。展開挙動の評価として、展開長とジャイロセンサーによる角速度を計測した。展開長は、実験中に撮影した動画を一定間隔でキャプションし、画像解析ソフトによってその静止画から計測した。中心構体の中心を原点として、ブーム先端までの距離を計測した。また自重の影響を考慮し、テグスで Boom 先端を吊って展開実験を行った。展開挙動のキャプション画像を Fig.10 に示す。

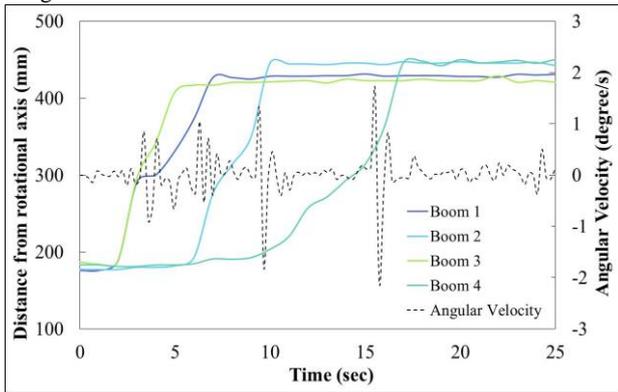


Fig. 11 Experimental results of the 1st step deployment

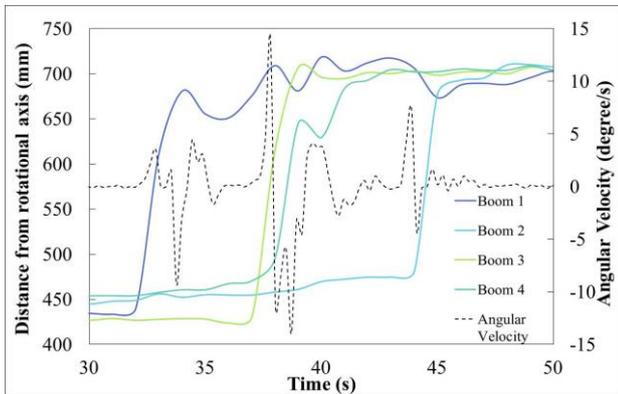


Fig. 12 Experimental results of the 2nd step deployment

1 段階目展開実験結果を Fig. 11 に、2 段階目展開時を Fig. 12 に示す。横軸は時間、縦軸左は展開長さ、右は角速度を表している。黒の破線が角速度であるが、4本のブームが同期して展開しなかったために、それぞれのブームの展開に合わせて角速度が生じる結果となった。1 段階目、2 段階目ともに同様の結果となった。展開実験は繰り返し行ったが、同様の結果となった。また実験後のブームを観察した結果、組紐が融解した部分も見つかった。これは SMA 自体の抵抗値が低く、SMA と電源供給用の銅線の接触部分の抵抗により過熱されたためと考えられる。

同期展開による中心構体に影響を与えない安定した展開を行う上でも加熱方法の検討は今後の課題である。ニクロム線による加熱を検討中であり、SMA が折り曲げられた際に収納を阻害しないニクロム線の配線方法検討が今後の課題である。

5. 結言

展開膜面構造に応用可能な展開ブームとして、SMA-BCON Boom を提案した。コンバックステープ形状に形状記憶した SMA を 2 枚用いた Bi-SMA Boom によって展開角度変化に対する基礎特性を計測し、SMA-BCON Boom の概念モデルを製作することで展開実証を行った。概念検討と展開には成功したが、同期的な展開挙動を得ることはできなかった。原因としては SMA の加熱方法が挙げられる。熱電対による温度変化の計測も行ったが、展開挙動と温度変化の関係については、検討段階である。SMA の加熱方法と温度変化の関係を明らかにして、展開制御に結び付けることが今後の課題である。また SMA-BCON Boom の機械的特性についても検討が必要であり、特にねじり剛性を高くするための断面形状の検討や結合部・組紐による拘束方法なども今後の課題である。

参考文献

- [1] 渡邊秋人, 伊藤裕明, 堀利行, 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, 2007, (2012, 10), 別府.
- [2] Hiraku Sakamoto, Hiroshi Furuya etc., "Origami-based Membrane Storage and Deployment Technology for De-orbiting Satellites," 64th International Astronautical Congress (IAC2013), IAC-13-B4.6A.4, (2013, 9), China.

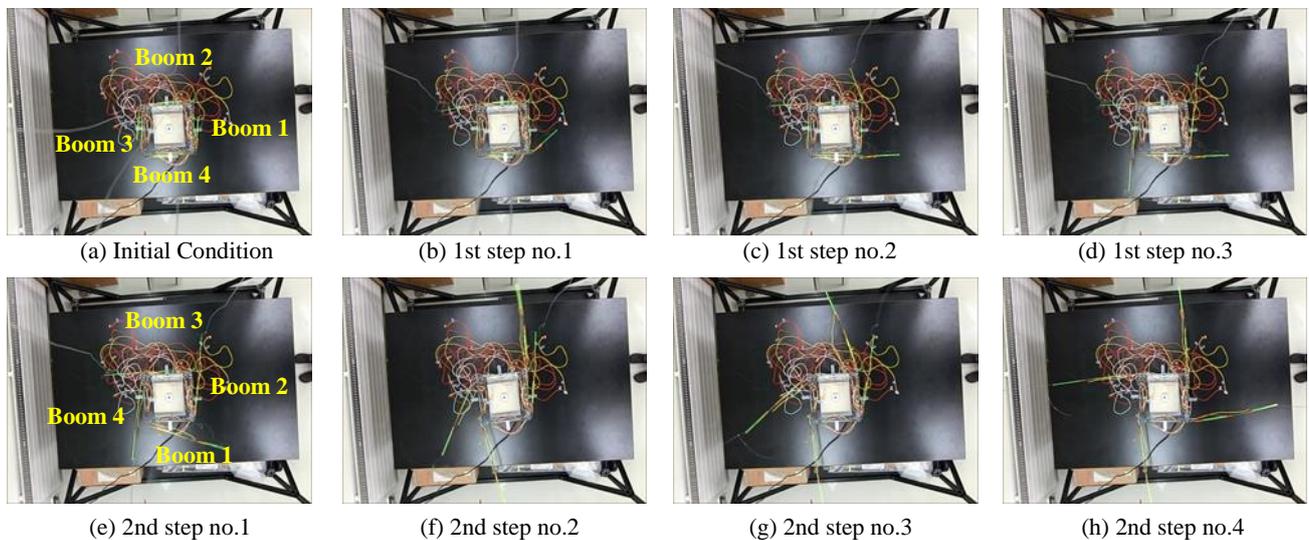


Fig. 10 Deployment behavior of SMA-BCON boom