室蘭工業大学
学術資源アーカイブ
Muroran Institute of Technology Academic Resources Archive

# 形状記憶合金を用いた組紐被覆コンベックステープブームの展開実証



| メタデータ | 言語: Japanese<br>出版者: 日本航空宇宙学会<br>公開日: 2016-05-31<br>キーワード (Ja):<br>キーワード (En): SMA-BCON boom, Deployment demonstration, Synchronous deployment<br>作成者: 勝又, 暢久, 貝森, 政明, 樋口, 健<br>メールアドレス:<br>所属: |
|---|---|
| URL | http://hdl.handle.net/10258/00008918 |

室蘭工業大学
学術資源アーカイブ
Muroran Institute of Technology Academic Resources Archive

# 形状記憶合金を用いた組紐被覆コンベックステープブームの展開実証

| | |
|---|---|
| その他（別言語等）のタイトル | Deployment Demonstrations on Braid Coated Bi-SMA Convex tape Boom (SMA-BCON Boom) |
| 著者 | 勝又 暢久, 貝森 政明, 樋口 健 |
| 雑誌名 | 第56回構造強度に関する講演会プログラム |
| 巻 | 56 |
| ページ | 1A19-1A19 |
| 発行年 | 2014-08-06 |
| URL | http://hdl.handle.net/10258/00008918 |

# 1A19　形状記憶合金を用いた組紐被覆コンベックス テープブームの展開実証

○勝又暢久，貝森政明，樋口健（室蘭工業大学）

Deployment Demonstrations on Braid Coated Bi-SMA Convex tape Boom (SMA-BCON Boom)

Nobuhisa Katsumata, Masaaki Kaimori and Ken Higuchi (Muroran Institute of Technology)

**Key Words:** SMA-BCON boom, Deployment demonstration, Synchronous deployment

**Abstract**

The purpose of this research is to evaluate the deployment behavior of the booms consist of bi-shape memory alloys (SMA) convex tapes covered with braid, named SMA-BCON Boom. The initial shape of SMA is fixed on convex tape shape. The booms are stored around a quadrangular center body, and they can deploy by heating. The deployment behavior is evaluated using the conceptual deployable model, and stepwise deployment behavior is achieved through deployment experiments.

## １．緒言

数十メートルから百メートルクラスの大型展開膜面構造物や，小型・超小型衛星のデオービット用展開膜面機構などへ応用可能な軽量かつ高剛性伸展ブームとして，組紐被覆コンベックステープブーム（Braid Coated Bi-Convex tape Boom，以降BCONブームとする）[1],[2] が注目され，盛んに研究されている．BCONブームの特徴は，コンベックステープ2枚を凸形状に組合せた楕円形状の断面を有し，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外周を拘束している点にある．コンベックステープは組紐内で長手方向にスライドすることが可能なため，収納時の周長差を許容しながらコンパクトに収納することができる．また一般的なコンベックステープ（SUS301FHなど）を用いた場合，展開は収納時の弾性エネルギーを解放することで行われる．そのため，展開挙動の観点では断続展開や減衰器などにより展開力を制御しながら展開する必要がある．また収納時の巻き付け部形状によっても展開力は変化する．巻き付け部形状が四角形の場合には，BCONブームは四角形の頂点でのみ折り曲げられるため，一般的なコンベックステープを用いた場合には展開力のロスが懸念される．

そこで本研究では，小型・超小型衛星の設計で一般的な立方体の外周にBCONブームを巻き付けることを前提にし，かつ衛星本体の姿勢安定性の観点から展開力が制御できるBCONブームとして，「SMA-BCONブーム」を提案する．四角形の中心構体，展開力の制御，軽量化の観点から，SMA-BCONブームは収納時の変形部（四角形の頂点部）にのみ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の加熱状態を変化させることで展開力の制御が可能であると考えた．

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．概念モデルの設計及び製作

### ２－１　SMA-BCONブームの概念モデル

SMA-BCONブームの概要を図１に示す．収納時の変形部にはNi-Ti合金のSMAを使用し，変形しない直線部にはアクリルの板材（板厚：3mm）を肉抜きして使用した．SMAはコンベックステープのように曲率断面を有する板材として形状記憶されている．今回用いたSMAの変態温度は約60度である．SMAとアクリル板は両面テープとカプトンテープで固定した．SMAとアクリル板の接合部寸法がブーム全体の曲げ･ねじり剛性に影響を与えることが予想されたため，自重を用いた簡易的な曲げ・ねじり試験により結合部の長さ，幅などの寸法を決定した．SMAの加熱はニクロム線を用いた．高温接着性に優れた金属用接着剤でSMAの内壁にニクロム線を一筆書きの波状に接着した．さらに，その上から接着効果と絶縁のためにポリイミドテープを張付けた．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．以上の製作の完了後，最終的に組紐によって外周を被覆した．製作後のSMA-BCONブームの一部を図２に示す．

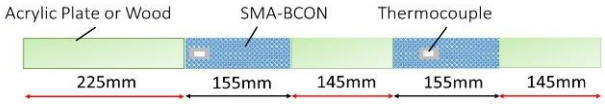


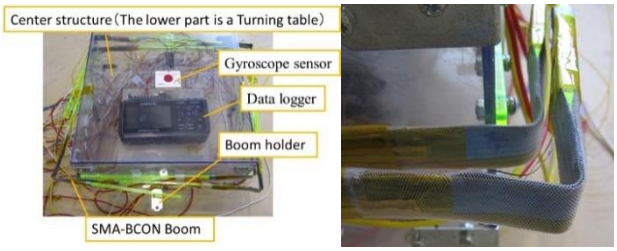

図１　SMA-BCONブームの概念図

図２　製作後のSMA-BCON Boom

### ２－２　収納部の製作と展開構造物の概念モデル

収納部は1辺30cmの正方形のボックスとし，塩ビ板（板

厚：3mm）で製作した．展開力によるボックスの回転運動を考慮し，ベニヤ板とスラストベアリングを用いて回転テーブルをボックス底面に設置した．ボックス内には熱電対用の計測ユニットとジャイロセンサーを設置した．製作した展開構造物の概念モデルを図３に示す．




(a) 実験装置の概要　　(b) ブーム収納状態

図３　SMA-BCONブームの展開実験モデル

## ３．SMA-BCONブームの展開実験

### ３―１　SMA-BCONブームのみによる展開実験

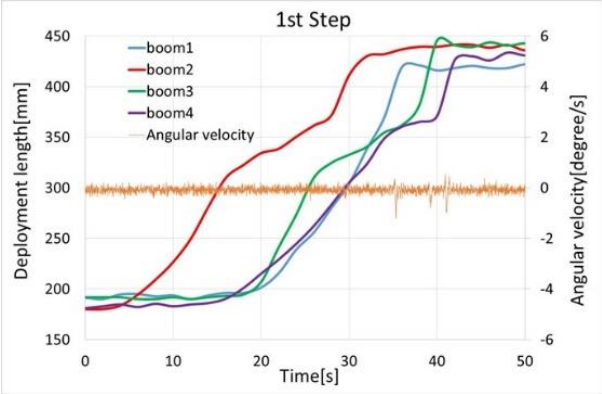
2章で述べた概念モデルを用いて展開実験を行った．図１にあるように1本のブームにSMAは2か所あるため，2段階の展開となる．ブームは全部で4本あるため，SMAを加熱するニクロム線は全部で8CHだが，直流電源のCH数の上限から4CHによって電力を供給した．ニクロム線と直流電源は並列に接続した．展開実験は，3種類の供給電圧，電力を用いて行った．直流電源との配線方法，実験条件を表１に示す．また自重の影響を低減するため，展開時はブーム先端をヒモで吊って実験を行った．

表１　ブームのみの展開実験における供給電圧，電力値

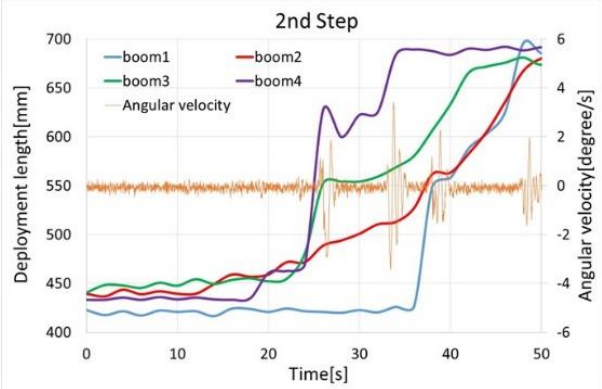
| | | 1段階目 | | 2段階目 | |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Boom 1,2 | Boom 3,4 | Boom 1,2 | Boom 3,4 |
| 供給電圧または電力 | Case 1 | 6.3 V | 8.0 V | 7.6 V | 7.3 V |
| | Case 2 | 10 V | 10 V | 10 V | 10 V |
| | Case 3 | 10 W | 10 W | 10 W | 10 W |

図４に，展開実験の代表例として10 [V]の電圧をそれぞれのニクロム線に供給して展開させたCase2の結果を示す．また図５に，展開時のSMAの温度変化を示す．図４において，横軸は時間，左縦軸はボックス中心からブーム先端までの距離，右縦軸にはジャイロセンサーで計測したボックスの角速度を示している．

Case 1は各所におけるニクロム線の抵抗値の違いを考慮して，ニクロム線に流れる電流が約1 [A]になるように電圧を調整して展開させた．Case 2は10 [V]の一定電圧を供給し，Case 3では10 [W]の一定電力をニクロム線に供給した．図４(a) Boom 1,3,4のように，各ブームの展開長の実線が重なっている場合は同期展開，重ならない場合は非同期展開である．非同期展開の場合，ブームの展開時反力によりボックスが回転・振動するため，角速度の急激な変化が生じている（図４ (b)）．図4 (a)においては，ブーム長が短く反力が小さいことも要因ではあるが，赤線で示したBoom 2以外が同期的に展開しているため，展開完了時の反力が小さくなったと考えられる．これらの考察は3種類のすべての場合において共通した結果である．また図５の温度変化と図４の展開挙動の関係については，展開の1段階目おいてBoom 3（緑色の実線）の温度が急上昇しているが，その影響が展開挙動に表れていない．展開の2段階目においてはBoom 4（青色の点線）の温度が急激に高くなっている．その影響として温度が急上昇した20秒後以降，Boom 4のみ他のブームより先に展開している．直流電源によって電圧，電力は制御されているが，温度変化に差が生じている．この原因としてニクロム線と直流電源の接続不良や，SMA内部でニクロム線が接触してショートし，大電流が流れたなどの推測はできるが，現状では原因の特定はできていない．




(a)　1段階目




(b)　2段階目

図４　SMA-BCONブームのみの展開実験結果
（供給電圧：10V）

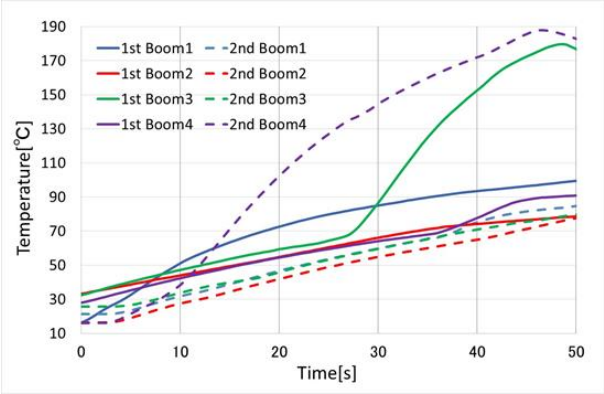
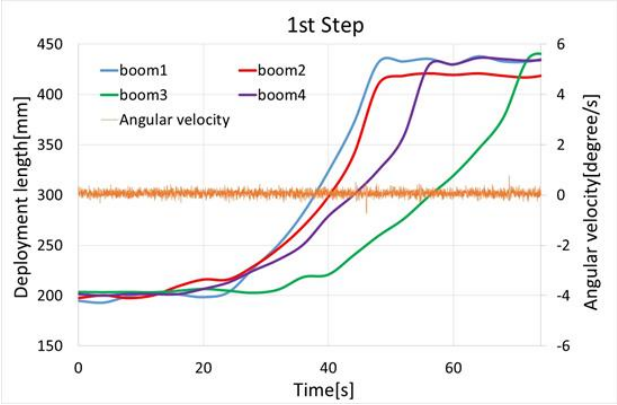



図５　展開時のSMAの温度変化
（供給電圧：10V）

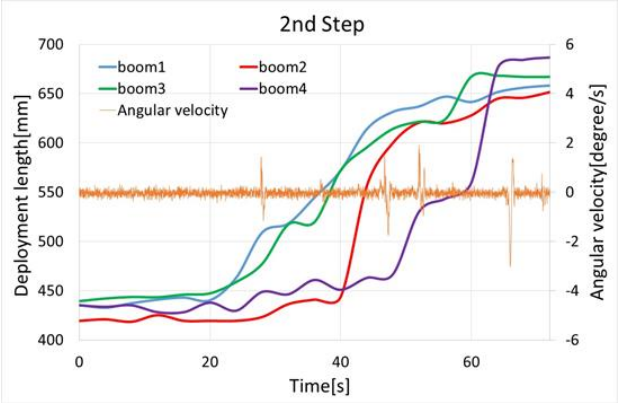
### ３―２　ブーム間にケーブルを張った場合の展開実験

各ブームの非同期展開は，ブーム間に張られた膜面を介して同期展開に近づくと考えられる．そこで膜面を模擬したケーブルをブーム間に張り，非同期展開時に生じる張力の影響について展開実験により確認した．ブーム間に張るケーブルの本数（1，2，3本の3パターン）をパラメータとして実験を行った．そのためニクロム線に供給する電力は一定とし，各ニクロム線に1 [A]の電流が供給されるように設定した．ブーム間に3本のケーブルを張ったパターン3の展開挙動を図６，またパターン3の実験結果を図７に示す．

図７と図５の比較より，ブーム間をケーブルでつなぐことで4本のブームの同期性が向上したと考えられる．また展開の同期性はブーム間を結ぶケーブルの本数が増すごとに向上した．特に図７ (b)のBoom 2（赤色）において，隣り合うBoom 1（水色）の展開が先に行われたことにより，Boom 2の展開も同調したと考えられる．その挙動が図６(e), (f), (g)においても示されている．Boom 4（青色）においては，Boom 3から張力が与えられケーブルが張った状態になっているが，展開の初期状態にその作用が働かなったために展開の終盤でBoom 3に引き寄せられて急激に展開したと考えられる（図６ (g), (h)，図７ (b) 50 ~ 60 [s]）．




(a)　1段階目　展開




(b)　2段階目　展開

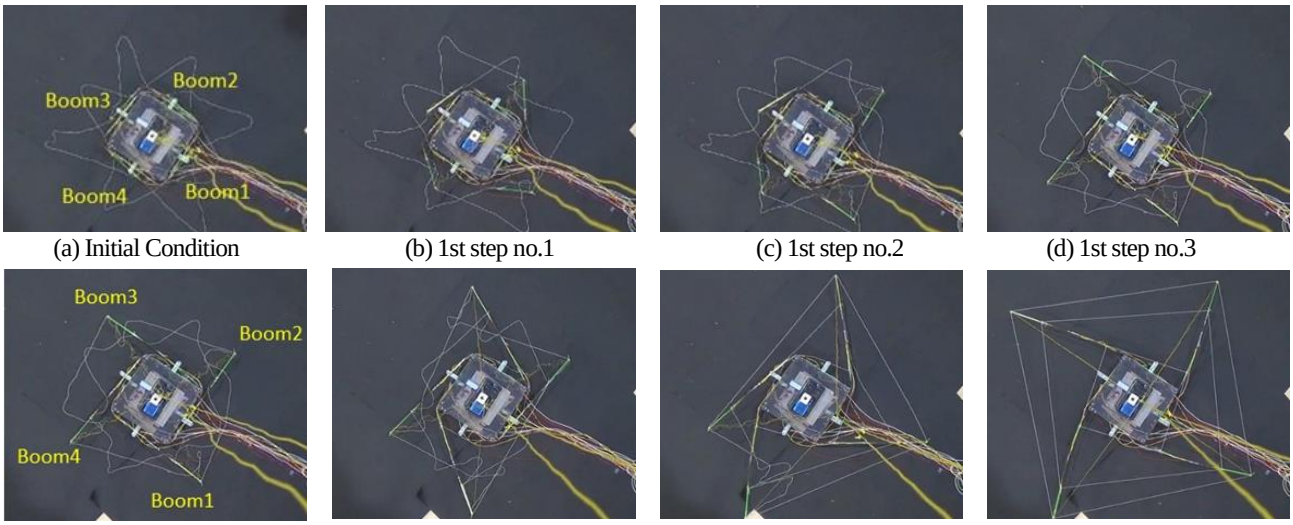
図７　SMA-BCON Boom間をケーブルでつないだ展開実験結果（3本のケーブルでつないだ場合）

## ４．結言

展開力制御可能なBCONブームとして，形状記憶合金の形状回復力を用いたSMA-BCONブームを提案した．曲率を有するSMA板材を2枚組み合わせ，その外周を組紐で被覆することでSMA-BCONブームの概念モデルを製作した．またSMA-BCONブームの利点を活かせる四角形中心構体の外周に収納した展開構造物の概念モデルを製作し，展開実証を行った．ニクロム線によるSMAの加熱により，収納状態からSMA-BCONブームは展開し，各ブームの展開同期性と展開挙動について考察した．また膜面を模擬したケーブルをブーム間に張ることで，ブーム間の展開速度の差が緩和され，同期展開が促進されることも明らかになった．SMAの均等加熱と温度制御は今後の課題である．

### 参考文献

[1] 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, 2O07, 2012年10月, 別府.
[2] 渡邊秋人，他，「組紐被覆ブームの軽量化検討」，第57回宇宙科学技術連合講演会，3M15，2013年10月，米子.




(a) Initial Condition　(b) 1st step no.1　(c) 1st step no.2　(d) 1st step no.3

(e) 2nd step no.1　(f) 2nd step no.2　(g) 2nd step no.3　(h) 2nd step no.4

図６　各ブームの展開挙動