

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 8 月 24 日現在

機関番号：12608

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2016

課題番号：25289305

研究課題名(和文) ブーム・膜複合構造による展開宇宙構造物の構築

研究課題名(英文) Development of Boom-Membrane Integrated Deployable Space Structures

研究代表者

古谷 寛 (Furuya, Hiroshi)

東京工業大学・工学院・准教授

研究者番号：00190166

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,400,000円

研究成果の概要(和文)：ブーム・膜複合構造の特徴を生かした、ブームと膜を同時に収納ならびに展開可能な構造様式の宇宙展開膜構造を新たに提案し、その詳細な収納方法および展開挙動を明らかにするとともに、フライトモデル製作のための具体的な知見を取得した。スケールモデルを用いて、重力補償装置を用いた地上展開実験、航空機実験による微小重力展開実験、ならびに真空槽を用いた展開実験を実施し、宇宙環境における展開挙動と超小型衛星のためのフライトモデル製作のための具体的な特性を明らかにした。これらの結果をもとに超小型衛星の展開膜機能モデルを設計・製作し、提案するブーム・膜複合構造の実現性を実証した。

研究成果の概要(英文)：The boom-membrane integrated deployable space structures have been proposed, which are characterized by the simultaneous retraction and deployment with deployable boom and membrane. The properties of storing and deployment for the boom-membrane integrated deployable structures were investigated by scaled model experiments to design a flight model for small satellites through the ground testing, the micro-gravity experiments, and the vacuum chamber experiments. Finally, the proposed boom-membrane integrated deployable structures were verified by developing the engineering model for a small satellite.

研究分野：宇宙工学

キーワード：宇宙システム 展開構造 展開ブーム 膜構造 収納 超小型衛星

1. 研究開始当初の背景

展開式ブームを用いて膜を展張する膜構造は、大型衛星から超小型衛星まで多様な用途に活用が期待されるが、地上実験では設計の検証が極めて難しいという技術課題があり、宇宙実証された例はいまだ希少である。

2. 研究の目的

本研究は、ブーム展張型宇宙膜構造の設計手法を構築するために、申請者らの過去の研究で開発した膜構造の数値解析手法をバックボーンとし、申請者らが提案する新たな「ブーム・膜複合構造」システムを実践的に開発して、小型衛星を用いた宇宙実証に向けた提案を行う。この実践の過程で、数値解析を積極的に用いて設計を検証する開発手法を確立し、より大型のブーム展張式膜構造の実現に必要な設計・解析の方法論を世界に先駆けて構築することを目的とする。

3. 研究の方法

収納法と展開機構の開発：本研究で構築するブーム・膜複合構造の大きな特徴は、他のブーム展張式膜構造の提案ではブーム先端のみ膜と結合しているのに対し、ブーム・膜を連続的に結合できる構造様式を導入する点である。この新たな「ブーム・膜複合構造」に用いる機構の開発のため、「機能試験モデル」を開発しながら、提案する構造の問題点を明らかにするとともにその解決手段を考察した。

展開ダイナミクスの推定と姿勢解析：宇宙機の開発では、打ち上げ前に設計・製造の検証を十分に行うことが欠かせないが、宇宙膜構造は重力・大気の影響を強く受けるため、ハードウェアを用いて地上で試験できることが極めて限定される。そこで、ブーム・膜複合構造の展開ダイナミクスの推定は、動的過渡応答の計算速度に優れる多粒子法を用いることで、ブームと連成した膜構造の展開挙動の解明と、ブーム・膜展開時/展開後の姿勢解析法の構築を行った。

形状・面外剛性の推定と展開ブームならびに膜の経時変化による影響推定：膜構造では、展開後の膜面の形状によって太陽輻射圧や空気抵抗の荷重の大きさと方向が決定するため、荷重の推定ならびに衛星の姿勢制御系の設計・制御のために、展開ブームの展開力ならびに膜の形状と面外剛性の推定が必要である。しかし、地上実験では重力の影響を強く受けるため、数値解析を積極的に用いて地上での試験結果から重力の影響を取り除き設計検証する方法が必要となる。また、伸展ブーム、膜に貼付した亀裂防止テープ、薄膜太陽電池セルなどが時間とともに変形ならびに劣化して膜形状が経時変化することがわかっており、この現象を考慮した数値解析が新たに必要である。本研究では、ブームの展開力低下を実験的に検討するとともに、

膜の応力場の推定精度が高いFEMによる数値解析手法を用いて膜形状を検討した。

4. 研究成果

ブーム・膜複合構造の特徴を生かして、ブームと膜を同時に収納ならびに展開可能な構造様式の宇宙展開膜構造を新たに提案し、その詳細な収納特性および展開挙動を明らかにするとともに、フライトモデル製作のための具体的な知見を取得した。スケールモデルを用いて、展開ダイナミクス特性を明らかにするとともに、重力補償装置を用いた地上展開実験、航空機実験による微小重力実験、および真空槽における展開実験を通して、宇宙環境における展開挙動の数値シミュレーションモデルを構築するとともに、超小型衛星のためのフライトモデル製作のための具体的な知見を取得し、機能モデルを製作しブーム・膜複合構造の実現性を実証した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 5件)

- (1) 古谷 寛, 坂本 啓, 伸展ブーム・膜からなる宇宙展開構造, 日本航空宇宙学会誌 特集記事 第1回, Vol.64, No.11, pp.322-326, Nov. 2016. (査読有)
- (2) 古谷 寛, 折り紙工学の宇宙構造物への応用, 特集: 折り紙の数理的・バイオミメティック的展開と産業への応用, 日本機械学会誌, Vol.119, No.1175, pp.570-571, Oct. 2016. (査読有)
- (3) Yasutaka Satou, Hiroshi Furuya, Guided-Pin Mechanisms for Wrapping Folds of Large Space Membrane, Aerospace Technology Japan, TRANSACTIONS OF THE JAPAN SOCIETY FOR AERONAUTICAL AND SPACE SCIENCES, AEROSPACE TECHNOLOGY JAPAN Vol. 12(2014) No. APISAT-2013, TJSAS-D-14-00009, p.a1-a7, July, 2015. (査読有)
- (4) Yasutaka Satou and Hiroshi Furuya, "Local Buckling in Crease Induced by Wrapping Fold of Space Membrane," Journal of Spacecraft and Rockets, Vol. 51, No. 2 (2014), pp. 595-603. doi: 10.2514/1.A32416. (査読有)
- (5) H. Sakamoto, M. C. Natori, S. Kadonishi, Y. Satou, Y. Shirasawa, N. Okuizumi, O. Mori, H. Furuya, M. Okuma, "Folding Patterns of Planar Gossamer Space Structures Consisting of Membranes and Booms", Acta Astronautica, Vol. 94, Issue 1, Jan.-Feb. 2014, Pages 34-41. (査読有)

〔学会発表〕(計 19件)

- (1) Hiroshi Furuya, Hiraku Sakamoto, Yasutaka Satou, Takashi Yokomatsu, Kyohei Yashima, Takaomi Chubachi and Akihito Watanabe, Boom/Membrane Integrated Deployable Space Structures for Small Satellites, 4th International Symposium on Solar Sailing, Kyoto, Japan, pp.1-4, Jan.17-20, 2017. (査読有)
- (2) Hiroki Nakanishi, Hiraku Sakamoto, Hiroshi Furuya, Masahiko Yamazaki, Yasuyuki Miyazaki, Akihito Watanabe, Kazuki Watanabe, Ayako Torisaka-Kayaba, and Mitsushige Oda, Development of Nano-Satellite OrigamiSat-1 with Highly Functional Deployable Membrane, 4th International Symposium on Solar Sailing, Kyoto, Japan, pp.1-4, Jan.17-20, 2017. (査読有)
- (3) Takaomi Chubachi, Hiroshi Furuya and Akihito Watanabe, Hybrid Self-deployable Tubular CFRP Booms for Deployable Membrane, 4th International Symposium on Solar Sailing, Kyoto, Japan, pp.1-7, Jan.17-20, 2017. (査読有)
- (4) Kazuya Saito, Nobukatsu Okuizumi, Hiraku Sakamoto, Junji Kikuchi, Jun Matsumoto, Hiroshi Furuya, Osamu Mori, Experimental Research on Roll-up Storage Method for a Large Solar Sail, 4th International Symposium on Solar Sailing, Kyoto, Japan, pp.1-5, Jan.17-20, 2017. (査読有)
- (5) Nobukatsu Okuizumi, Yasutaka Satou, Osamu Mori, Hiraku Sakamoto and Hiroshi Furuya, Investigation of the Deformation and Stiffness of Spinning Solar Sail Membrane of IKAROS, AIAA-2017-1113, AIAA SciTech2017, Grapevine, TX, pp.1-6, Jan.9-14, 2017. (査読有)
- (6) Hiroshi Furuya, Kyohei Yashima, Takashi Yokomatsu, Hiraku Sakamoto and Akihito Watanabe, Micro-gravity Testing of Boom-Membrane Integrated Deployable Structures for Micro-satellites, AIAA-2017-0618, AIAA SciTech2017, Grapevine, TX, pp.1-5, Jan.9-14, 2017. (査読有)
- (7) Hiroshi Furuya, "Folding of Deployable Membrane Space Structures", Origami-Based Modeling and Analysis ICMMA 2016 (International Conference on Mathematical Modeling and Applications 2016), pp.205-214, Nov. 9-12, 2016. (査読有)
- (8) Hiraku Sakamoto, Hiroki Nakanishi, Masahiko Yamazaki, Yasuyuki Miyazaki, Hiroshi Furuya, Akihito Watanabe, Kazuki Watanabe, Mitsushige Oda, CubeSat Design for Space Demonstration of Deployable Membrane Structure Technologies, 30th ISTS, Paper Number : 2015-f-74, pp.1-6, July 8-10, 2015. (査読有)
- (9) Takashi Yokomatsu and Hiroshi Furuya, Deployment Experiments on Stiffened Tri-axial Tubular CFRP Boom for Boom-Membrane Integrated Space Structures, 30th ISTS, Paper Number : 2015-c-46, pp.1-4, July 8-10, 2015. (査読有)
- (10) Hiroshi Furuya, Yasutaka Satou, Hiraku Sakamoto, Moto Takai, Nobukatsu Okuizumi, M.C. Natori, Ayako Torisaka, Takashi Yokomatsu, Hiroyasu Kurashige and Akihito Watanabe, Deployment Experiments of Wrapping Fold Boom-Membrane Integrated Space Structures for De-orbiting Satellites, 30th ISTS, Paper Number: 2015-c-45, pp.1-4, July 8-10, 2015. (査読有)
- (11) Hiroshi Furuya, Boom-Membrane Integrated Deployable Structures for De-orbiting Satellites and Future Applications, International Symposium on Sustainable Space Development and Space Situational Awareness(持続的宇宙開発と宇宙状況認識推進のための国際シンポジウム), Shinagawa, The Grand Hall, Titech-Japan Space Forum, Feb. 26-27, 2015. (査読なし)
- (12) Yasutaka Satou; Osamu Mori; Nobukatsu Okuizumi; Yoji Shirasawa; Hiroshi Furuya; Hiraku Sakamoto, Deformation Properties of Solar Sail IKAROS Membrane with Nonlinear Finite Element Analyses, AIAA SciTech2015, Kissimmee, Florida, Jan. 5-9, 2015. (査読有)
- (13) Hiraku Sakamoto; Hiroshi Furuya; Yasutaka Satou; Nobukatsu Okuizumi; Moto Takai; M.C. Natori, Wrapping Fold and Deployment Characteristics of Boom-Membrane Integrated Space Structures, AIAA SciTech2015, Kissimmee, Florida, Jan. 5-9, 2015. (査読有)

- (14) Hiroshi Furuya, Yasutaka Satou, Hiraku Sakamoto, Michihiro Natori, Deployment Dynamics of Membrane-Boom Wrapped Structures, 65th Int. Astronautical Congress, Toronto, IAC-14-C2.3.10, pp.1-6, Sept. 29-Oct. 4, 2014. (査読有)
- (15) Hiroshi Furuya, Yasutaka Satou, Hiraku Sakamoto, M.C. Natori, Nobukatsu Okuizumi, and Moto Takai, Deployment Experiments of Boom-Membrane Integrated Wrapped Structures, 24th Workshop on JAXA Astrodynamics and Flight Mechanics, Sagamihara, July 28, 2014. (査読有)
- (16) Hiroshi Furuya and H. Komamura, Structural Optimization of Bi-Convex Deployable Boom for Space Structures, No.0177, 8th China-Japan-Korea Joint Symposium on Optimization of Structural and Mechanical Systems (CJK-OSM8), Gyeongju, Korea, pp.1-2, May 25-29, 2014. (査読有)
- (17) Hiroshi Furuya, Yutaro Matsuo, Ayumu Yamasaki, Initial Deformation Properties of Solar Sail Membrane for Equivalent Stiffness, AIAA SciTech2014, 2014, , National Harbor, Maryland Jan. 13-17, pp.1-8, 2014. (査読有)
- (18) Yasutaka Satou; Nobukatsu Okuizumi Go Ono; Hiroshi Furuya; Hiraku Sakamoto; Yoji Shirasawa; Osamu Mori, Nonflatness of Solar Sail Membrane Predicted by Nonlinear Finite Element Analyses, AIAA SciTech2014, 2014, , National Harbor, Maryland Jan. 13-17, pp.1-, 2014. (査読有)
- (19) 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. (査読有)

〔図書〕(計 0件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0件)
取得状況(計 0件)

〔その他〕
ホームページ等
<http://www.origami.titech.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

古谷 寛 (FURUYA, Hiroshi)
東京工業大学・工学院・准教授
研究者番号：00190166

(2) 研究分担者

坂本 啓 (SAKAMOTO, Hiraku)
東京工業大学・工学院・准教授
研究者番号：40516001

名取 通弘 (NATORI, Michihiro)
早稲田大学・理工学院・教授
研究者番号：00013722

(3) 連携研究者

森 治 (MORI, Osamu)
宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所・助教
研究者番号：30310001

白澤 洋次 (SHIRASAWA, Yoji)
宇宙航空研究開発機構・研究開発部門・研究開発員
研究者番号：00634073

奥泉 信克 (OKUIZUMI, Nobukatsu)
宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究所・助教
研究者番号：10321564

船瀬 龍 (FUNASE, Ryu)
東京大学・工学系研究科・准教授
研究者番号：10321564

勝又 暢久 (KATSUMATSU, Nobuhisa)
室蘭工業大学・工学系研究科・助教
研究者番号：60534948

鳥阪 綾子 (TORISAKA, Ayako)
首都大学・理工学部・助教
研究者番号：70449338