

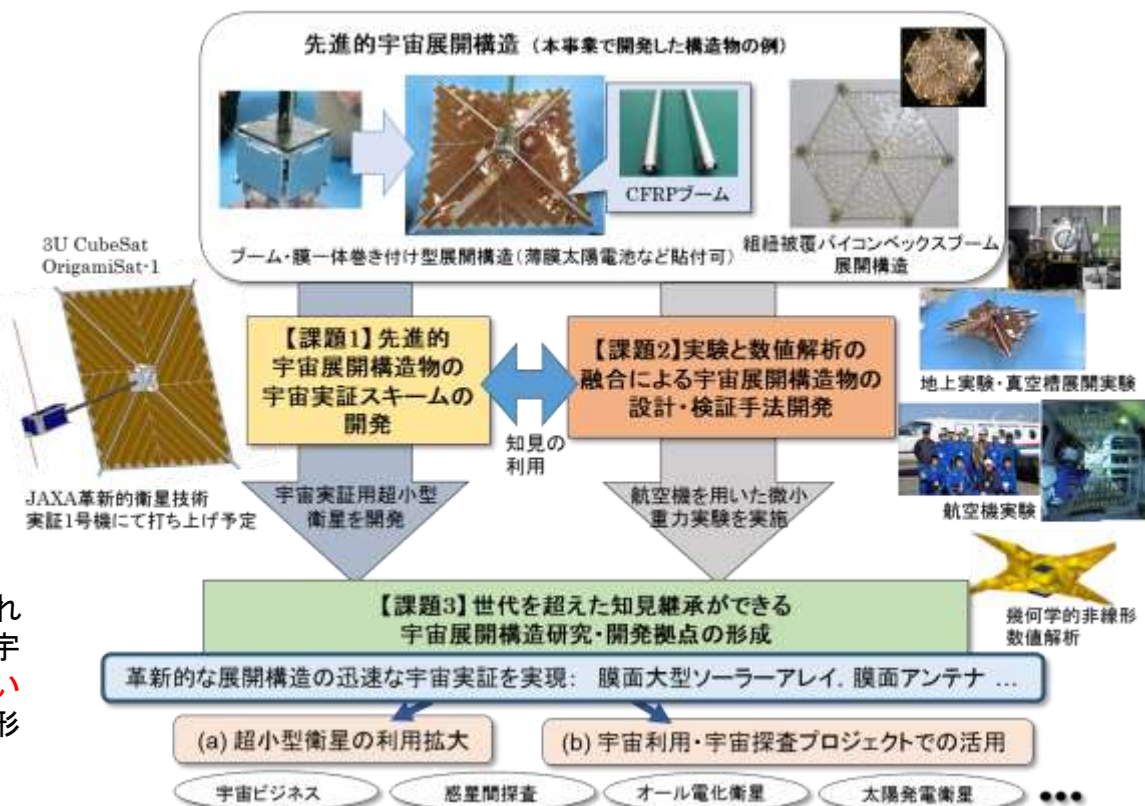
「革新的宇宙科学を切り拓く先進展開構造の研究・開発拠点形成」

成果の概要

研究 開発 体制	主管研究機関 研究代表者名	東京工業大学 准教授 坂本啓	研究 開発 期間	平成26年度～ 平成28年度 (3年間)
	共同研究機関	日本大学、サカセアドテック(株)、 (株) ウェルリサーチ		

研究開発の背景・全体目標

- ✓ 打ち上げ時には小さく折り畳んでおき、宇宙空間で展開する「宇宙展開構造」をより軽量、高収納率にすれば、ソーラーレイ、デオービット膜、サンシールド、ソーラーセイル、平面アンテナ等、超小型～大型衛星まで多様な応用が可能となり、**宇宙利用の可能性を大きく広げる**。しかしこれまで実機レベルの展開構造を研究・開発する拠点はJAXA以外になかった。**先進的な宇宙展開構造物は軌道上での実証実験で得られる知見が極めて重要であるが**、大学と企業が共に宇宙実証を行いながら挑戦的な技術開発を実施する場はこれまで十分に醸成されてこなかった。
- ✓ また、展開構造は地上では重力・大気の影響を強く受け、実験による設計・検証が難しい。そこで(1) 重力補償を用いた地上実験、(2) 航空機などを用いた微小重力実験、(3) 小型／部分モデルを用いた軌道上での実験、を組み合わせる**設計・検証手法が求められる**。
- ✓ さらに宇宙展開構造物の研究・開発ビジョンは十分共有されておらず、JAXA（特にISAS）のミッションで必要となった宇宙展開構造物について**コミュニティが後追いで研究するという状況が見られた**。長期的視野を持った研究・開発拠点の形成が求められる。



上記の状況を打破する目的で、右図の【3つの課題】の解決を目標とする。

「革新的宇宙科学を切り拓く先進展開構造の研究・開発拠点形成」の成果について

研究開発の全体概要

次の①～③の目標(課題1～3の解決)を達成し、それにより大学と企業の若手が自律的に先進展開構造を開発していく研究・開発拠点を構築する。

① 先進的宇宙展開構造物の宇宙実証スキームの開発

先進的宇宙展開構造開発に資する宇宙実証スキームを構築する目的で、本事業ではパイロットプロジェクトとして3U CubeSat「OrigamiSat-1」(10cm×10cm×34cm, 4kg)を開発する。

② 実験と数値解析の融合による宇宙展開構造物の設計・検証手法開発

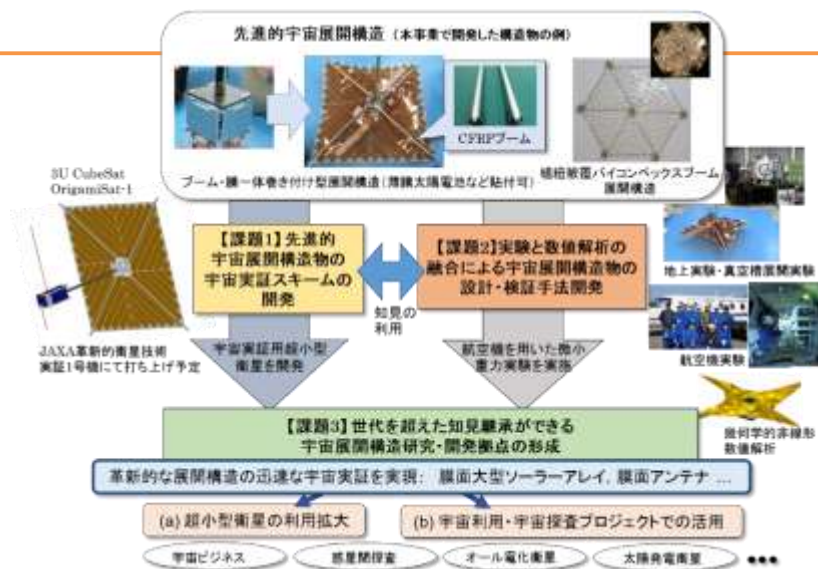
軌道上実験から得られる知見を用いて多様なサイズや形状の展開構造を設計・検証するための方法論を構築する目的で、重力補償を用いた地上展開実験に加え、航空機を用いた微小重力実験を実施する。この実験結果を利用し、数値解析を用いた設計・検証手法を構築する。

③ 世代を超えた知見継承を可能とする宇宙展開構造物研究・開発拠点の形成

大学・企業の若手が主体となって、若手とベテランが共に厳しい議論を行い、宇宙実証を行いながら先進的な宇宙展開構造物の設計・検証を実践していく拠点の形成を目的に、(i) 多様な宇宙利用ユーザーとのワークショップの開催、(ii) 宇宙構造物ロードマップの作成、(iii) 企業での大学院生のOJTを実施する。

期待される効果

- ✓ 地上構造物の延長線上にないような先進的宇宙展開構造物を構築していくためには、モノを実際に作り、宇宙を実験場として試行錯誤を繰り返していくことが有効である。本事業では実践を通してその方法論を構築し、体制を築き、人材を育成する。
- ✓ これにより、これまでにない軽量・大型の膜面ソーラーアレイ技術、膜面アンテナ技術など、(a) 超小型衛星の利用拡大、および(b) 宇宙利用を拡大する先進的な衛星や、宇宙科学を切り拓く宇宙探査プロジェクトの実現に不可欠な先進展開構造物の研究・開発を、若手が主導し大学・企業が連携する拠点を形成して実施していくことが可能となる。



「革新的宇宙科学を切り拓く先進展開構造の研究・開発拠点形成」の成果について

「国民との科学・技術対話」の推進に関する取組について

「国民との科学・技術対話」の推進に取り組んだ事例を以下に示す。

(1) 市民向け講演会の実施(於:東京工業大学)

- ✓ 受験生・高校生を対象に、宇宙展開構造研究の取り組みについて講演を行った(2015年、2016年の2度)。
- ✓ オープンキャンパスの会場において実施し、2015年には約270名、2016年には約240名の参加があり、講演後には参加者から盛んに質問がなされた。



(2) 東京工業大学の研究・開発環境の公開

- ✓ 宇宙実証衛星OrigamiSat-1の研究・開発環境を、大学のオープンキャンパスおよび学園祭の機会に公開した。
- ✓ 2015年および2016年の8月・10月の4度実施。特に学園祭では広い世代の市民の訪問があった。



(3) 日本大学の研究・開発環境の公開

- ✓ 航空機微小重力実験や真空槽展開実験の研究・開発環境を、大学のオープンキャンパスで公開した。
- ✓ 2015年には3度、2016年の2度の計5回公開を実施。のべ約900名の訪問者があった。



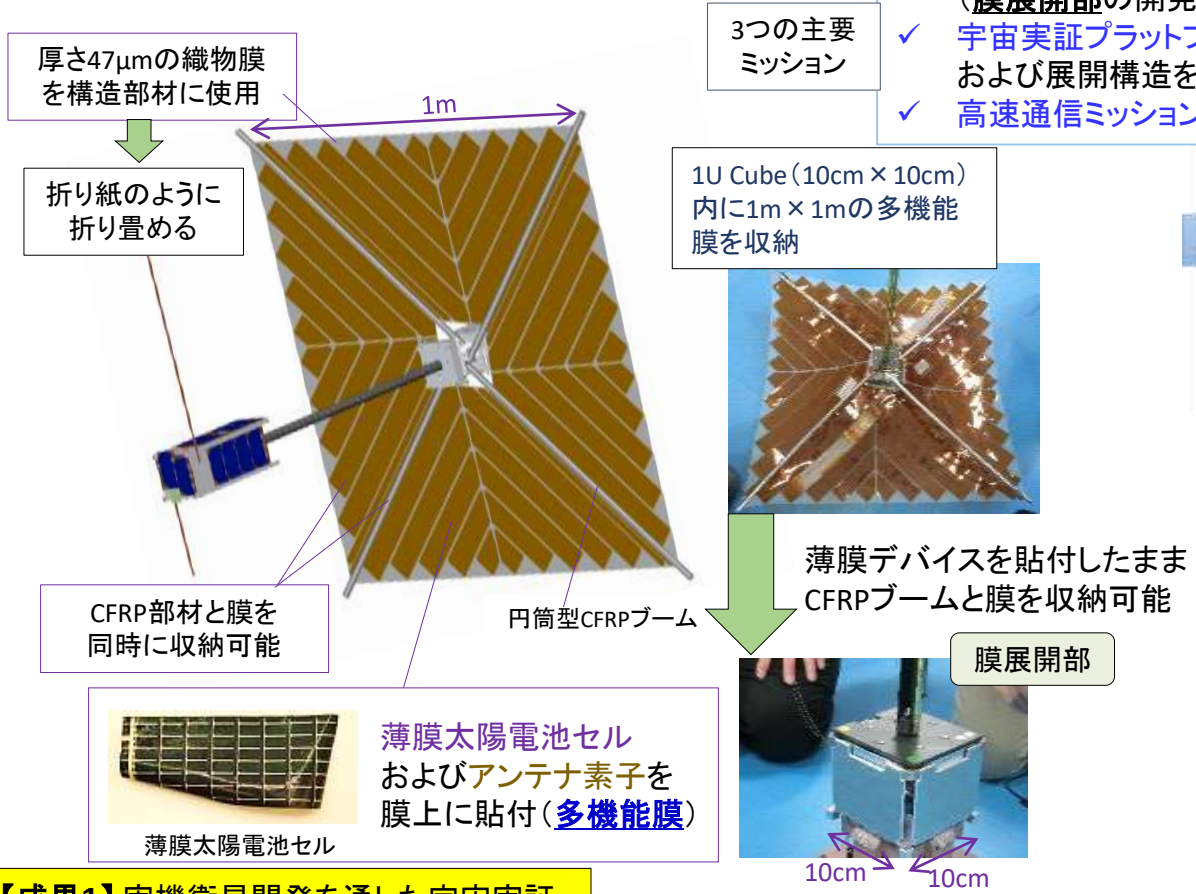
①「先進的宇宙展開構造物の宇宙実証スキームの開発」

実施内容及び主な研究開発成果

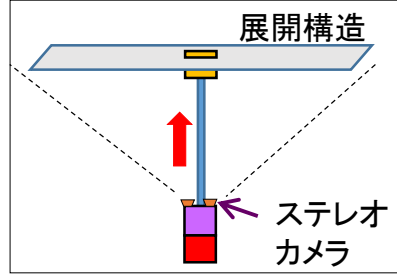
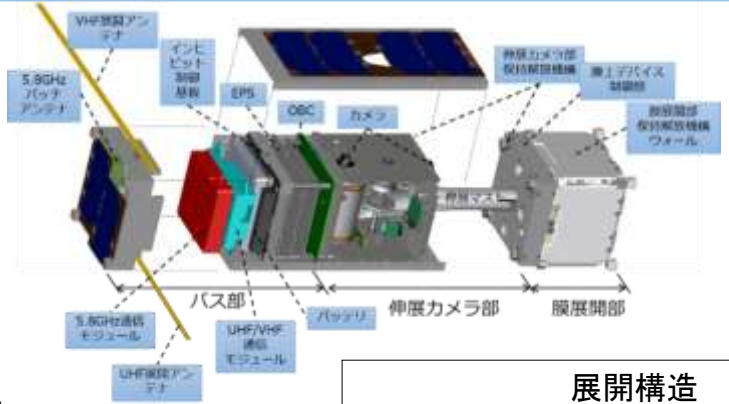
背景: 膜構造など柔軟な先進的宇宙展開構造設計のためには、軌道上での展開実験で得られる知見が極めて重要
◀▶ これまで宇宙実証された例は少なく、また宇宙での展開の挙動や展開後の状態を計測する実験の提案も希少

本事業では、拠点形成を目的としたパイロットプロジェクトとして、軌道上で1m×1m多機能膜構造の展開挙動・展張状態計測実験を実現する3U(10cm×10cm×34cm)のキューブサットOrigamiSat-1を開発した。OrigamiSat-1はJAXA革新的衛星技術実証1号機搭載機として選定され、イプシロンロケットによって地球周回軌道へ打ち上げられる予定である。

3U CubeSat, *OrigamiSat-1*



- OrigamiSat-1のミッション:**
- ✓ **多機能膜展開ミッション:** 薄型デバイスを貼付した1m×1m膜の展開(膜展開部の開発)
 - ✓ **宇宙実証プラットフォーム開発ミッション:** 既製品を利用した**バス部**および展開構造を軌道上計測する**伸展カメラ部**の開発
 - ✓ **高速通信ミッション:** 5.84GHz高速通信技術の習得



約1mのCFRPマストを伸展し、離れた位置から展開構造物を立体視。

【成果1】 実機衛星開発を通じた宇宙実証スキームの獲得

【成果2】 「多機能展開膜」の新規開発

【成果3】 「実験プラットフォーム」の新規開発

②「実験と数値解析の融合による宇宙展開構造の設計・検証手法開発」

背景: 地上での展開実験や微小重力環境での展開実験を実施すること、そして小型・部分構造を用いた宇宙実証実験で得られる計測データを、構造数値解析モデルへ反映し、その数値解析モデルを用いて実験とは異なるサイズや構成の展開構造物の設計・検証を可能にしている手法開発が求められる。

本事業では、まず航空機による微小重力環境を利用した宇宙構造物の展開実験手法を開発し6日間の実験で9種類119パターンの展開構造物供試体のデータを取得することに成功した。さらに微小重力環境を使って小型衛星用デオービットデバイス等の検証を実施した。加えて、2つの構造様式に関して数値解析モデルを構築して実験結果からの知見を活用する設計・検証法の実例を示した。スピン展開膜については相似則を導出した。周辺技術の発展も実施し、設計・検証手法全体を構築した。

1. 航空機実験手法の確立

- ✓ 航空機実験装置の開発
- ✓ 小型衛星用デオービットデバイスの設計・検証
- ✓ インフレータブルブーム・膜複合構造の検証

重力補償を用いた地上展開実験

【課題1】で実施



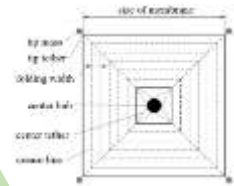
航空機を用いた微小重力展開実験



相似則に基づく実験・解析の計画

3. 相似則を用いた宇宙構造物の設計・検証法

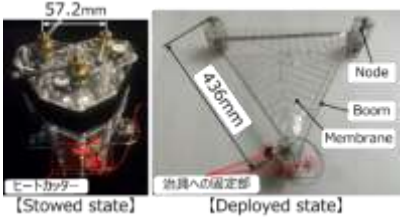
- ✓ スピン展開型構造物の相似則



数値解析を用いた実験結果の拡張

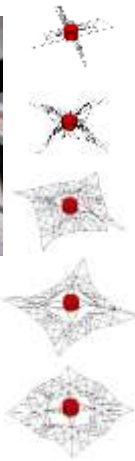
2. 多様な構造様式の数値解析による設計・検証法

- ✓ 組紐被覆ブーム展開構造
- ✓ OrigamiSat-1構造様式



4. 周辺技術の発展

- ✓ 3次元座標計測システムの設計・製作
- ✓ 膜面展開ダイナミクス計測ソフトの開発
- ✓ 数値解析の高速化



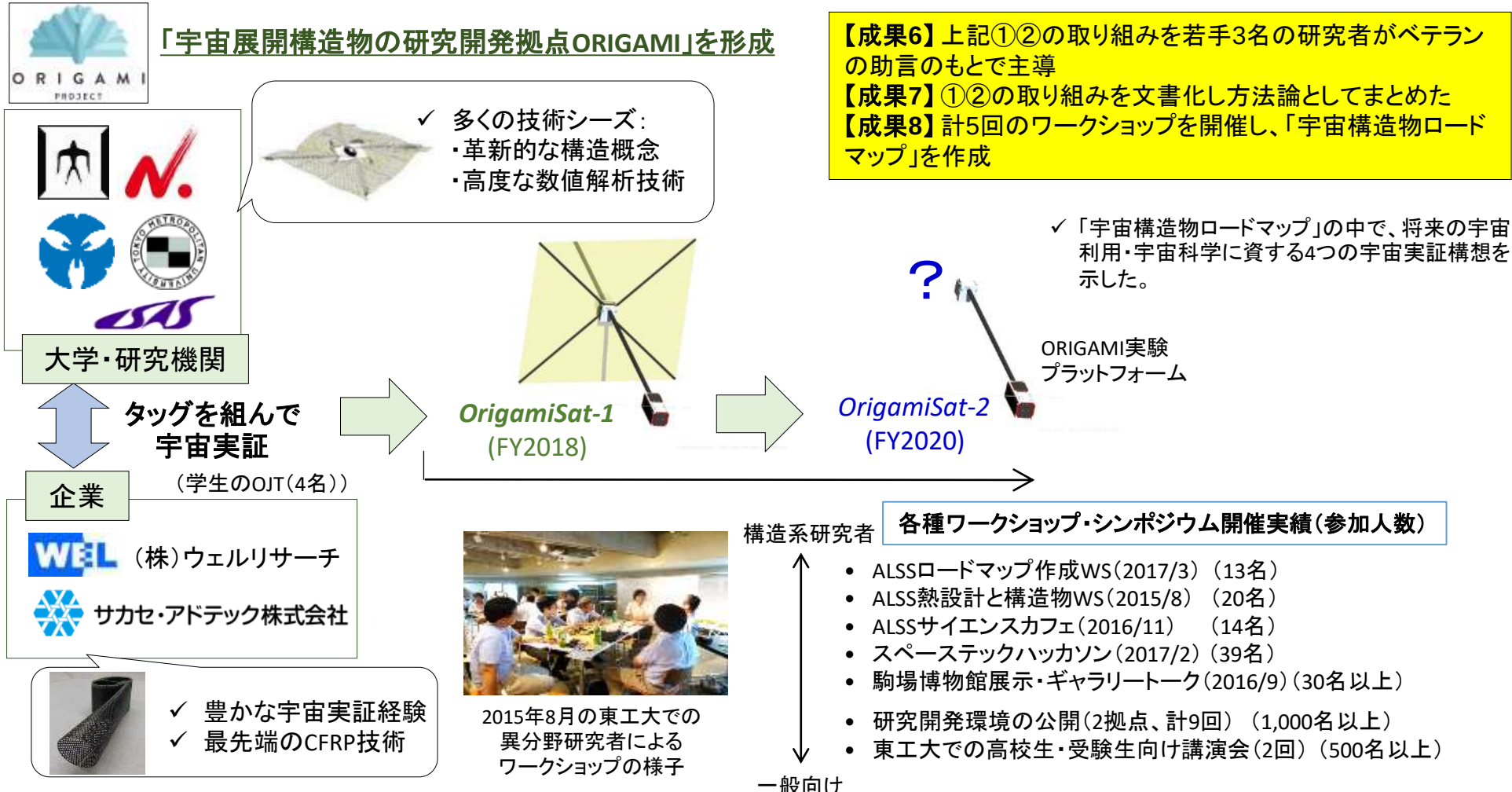
【成果4】微小重力展開実験手法の構築・実践

【成果5】数値解析モデルを用いた設計・検証手法および相似則の構築

③ 「世代を超えた知見継承を可能とする宇宙展開構造物研究・開発拠点の形成」

背景： 宇宙展開構造物研究コミュニティは育ちつつあるが宇宙実証を行える体制とはなっておらず、JAXAミッションで必要になった構造を後追いで研究する傾向があった。JAXAに依存せず、大学・企業が主体となって、若手とベテランが共に厳しい議論を行い、宇宙実証を行いながら先進的な宇宙展開構造物の設計・検証手法を確立していく場は醸成されていなかった。

本事業では、課題1、課題2を大学と企業の若手が主体となって促進し、宇宙実証を行いながら先進的な研究を行う**先進技術供給拠点**を形成した。具体的には、既存のコミュニティであった先進軽量構造システム研究会(ALSS)を核としてワークショップを計5回開催し、本事業の取り組みを共有しながら、研究開発ロードマップを作成。本事業終了後も継続的に宇宙実証を実施していくリーダーシップ体制を形成した。また企業に学生を短期派遣(計4名)して大学・企業間の共同開発関係を深めた。



国際会議

1. A. Tamura, S. Inoue, D. Kawarabayashi, D. Hyodo, Y. Miyazaki, "Report on Microgravity Experiments of Self-Deployable Truss Structure Consisting of BCON Booms", 8th Asian Conference on Multibody Dynamics, ACMD2016, Kanazawa, Aug. 8-10, 2016.
2. Y. Tatematsu, T. Suzuki, M. Yamazaki, Y. Miyazaki, "Similarity Rules for Spin Deployment Membrane", 8th Asian Conference on Multibody Dynamics, ACMD2016, Kanazawa, Aug. 8-10, 2016.
3. N. Tada, S. Inoue, "Membrane Deployment de-orbit System by convex tapes", Deorbit Device Competition, Bulgaria, Sep. 1, 2016.
4. Y. Shimoda, K. Watanabe, N. Sakamoto, T. Kuratomi, N. Hidaka, M. Ogawa, H. Sakamoto, H. Nakanishi, "Development of Stereo Camera System for Accurate Observation of Deployable Membranes Onboard CubeSat," AIAA-2017-0167, SciTech2017, Grapevine, Texas, USA, , Jan. 9-13, 2017.
5. A. Tamura, S. Inoue, D. Kawarabayashi, M. Yamazaki, Y. Miyazaki, "Deployment Dynamics of Self-deployable Truss Structure Consisting of Bi-convex Booms", AIAA 2017-0175, 4th AIAA Spacecraft Structures Conference, SciTech2017, Grapevine, Texas, USA, , Jan. 9-13, 2017.
6. N. Tada, S. Inoue, Y. Miyazaki, M. Yamazaki, "Membrane Deployment de-orbit System by convex tapes", AIAA 2017-0619, 4th AIAA Spacecraft Structures Conference, SciTech2017, Grapevine, Texas, USA, , Jan. 9-13, 2017.
7. M. Yamazaki, "Data Driven Model for Efficient Prediction and Estimation of Spin Type Membrane Space Structure Dynamics", AIAA 2017-1114, 4th AIAA Spacecraft Structures Conference, SciTech2017, Grapevine, Texas, USA, , Jan. 9-13, 2017.
8. Hiroshi Furuya, Kyohei Yashima, Takashi Yokomatsu, Hiraku Sakamoto, Akihito Watanabe, "Micro-gravity Testing of Boom-Membrane Integrated Deployable Structures for Micro-satellites", AIAA-2017-0618, 4th AIAA Spacecraft Structures Conference, SciTech2017, Grapevine, Texas, USA, , Jan. 9-13, 2017.
9. Y. Tatematsu, T. Suzuki, M. Yamazaki, Y. Miyazaki, "Verification of the Similarity Rules for Spin Deployment Membrane in the ground experiment", AIAA 2017-1112, 4th AIAA Spacecraft Structures Conference, SciTech2017, Grapevine, Texas, USA, , Jan. 9-13, 2017.
10. Hiroshi Furuya, Hiraku Sakamoto, Yasutaka Satou, Takashi Yokomatsu, Kyohei Yashima, Takaomi Chubachi, 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.
11. Hiroki Nakanishi, Hiraku Sakamoto, Hiroshi Furuya, Masahiko Yamazaki, Yasuyuki Miyazaki, Akihito Watanabe, Kazuki Watanabe, Ayako Torisaka-Kayaba, 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.
12. Takaomi Chubachi, Hiroshi Furuya, 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.
13. T. Nishizawa, H. Sakamoto, M. Okuma, "Shape Estimation and Design Methods for Membrane Structures to Achieve Appropriate Flatness," AIAA-2016-1219, 3rd AIAA Spacecraft Structures Conference, SciTech2016, San Diego, California, Jan. 4-8, 2016.
14. Y. Shimoda, K. Watanabe, N. Sakamoto, T. Kuratomi, Y. Naito, T. Nishizawa, H. Sakamoto, H. Nakanishi, M. Yamazaki, "Development of Stereo Camera System for Accurate Observation of Large Deployable Membranes in Orbit," AIAA-2016-1473, 3rd AIAA Spacecraft Structures Conference, SciTech2016, San Diego, California, Jan. 4-8, 2016.
15. H. Furuya, T. Yokomatsu, H. Sakamoto, H. Satou, "Deployment Properties with Gravity Compensation Devices for Boom-Membrane Integrated Wrapped Structures," AIAA-2016-2167, 3rd AIAA Spacecraft Structures Conference, SciTech2016, San Diego, California, Jan. 4-8, 2016.
16. M. Yamazaki, "Empirical Data Driven Model for Shape and Dynamics Estimation of Large Deployable Membrane Space Structure," AIAA 2016-0679, AIAA Modeling and Simulation Technologies Conference, SciTech2016, San Diego, California, Jan. 4-8, 2016.
17. H. Sakamoto, H. Nakanishi, M. Yamazaki, Y. Miyazaki, H. Furuya, A. Watanabe, K. Watanabe, M. Oda, "CubeSat Design for Space Demonstration of Deployable Membrane Structure Technologies," 2015-f-74, 34th International Symposium on Space Technology and Science, July 4-10, 2015.

国内会議

- 1. 坂本啓, 「3UキューブサットOrigamiSat-1による高機能展開膜構造の宇宙実証」, No. 4F06, 第60回宇宙科学技術連合講演会, 北海道函館市, 2016年9月6-9日.
- 2. 下田優弥, 渡邊和樹, 坂本信臣, 倉富剛, 内藤佑貴, 日高奈菜, 小川睦大, 坂本啓, 中西洋喜, 「超小型衛星による薄膜展開技術の実証に向けたステレオカメラシステムの設計II」, No. 2G08, 第60回宇宙科学技術連合講演会, 北海道函館市, 2016年9月6-9日.
- 3. 山崎政彦, 立松裕基, 田村明寛, 多田伸, 山田諭, 河原林大思, 鈴木智大, 宮崎康行, 坂本啓, 「航空機パラボリックフライトによる宇宙展開構造物の微小重力環境実験」, No. 2H10, 第60回宇宙科学連合講演会, 北海道函館市, 2016年9月6-9日.
- 4. 渡邊秋人, 伊藤裕明, 堀利行, 「組紐被覆ブームの応用」, No. 2H11, 第60回宇宙科学連合講演会, 北海道函館市, 2016年9月6-9日.
- 5. 古谷寛, 八島京平, 横松卓, 坂本啓, 「ブーム・膜複合構造の微小重力環境下における展開挙動」, No. 2H12, 第60回宇宙科学連合講演会, 北海道函館市, 2016年9月6-9日.
- 6. 田村明寛, 井上翔太, 宮崎康行, 「微小重力下における自己展開トラス構造の展開挙動」, No. 2H13, 第60回宇宙科学連合講演会, 北海道函館市, 2016年9月6-9日.
- 7. 河原林大思, 宮崎康行, 「三次元自己展開トラスの概念と微小重力下における展開特性」, No. 2H14, 第60回宇宙科学連合講演会, 北海道函館市, 2016年9月6-9日.
- 8. 多田伸, 宮崎康行, 「コンベックステープを用いた膜面展開型デオービット機構の開発」, No. 2H15, 第60回宇宙科学連合講演会, 北海道函館市, 2016年9月6-9日.
- 9. 山田諭, 丸木悠暉, 山崎政彦, 宮崎康行, 「微小重力環境下でのインフレータブルチューブの伸展挙動解析」, No. 2H16, 第60回宇宙科学連合講演会, 北海道函館市, 2016年9月6-9日.
- 10. 立松裕基, 鈴木智大, 山崎政彦, 宮崎康行, 「微小重力環境下実験を用いた遠心力展開膜面の展開挙動相似則の検証」, No. 2H17, 第60回宇宙科学連合講演会, 北海道函館市, 2016年9月6-9日.
- 11. 小川睦大, 坂本啓, 大熊政明, 下田優弥, 倉富剛, 日高菜奈, 「超小型衛星を用いた膜構造の軌道上ステレオ視計測システム」, No. A01, 第32回宇宙構造・材料シンポジウム, 神奈川県相模原市, 2016年12月9日.
- 12. 天本十和, 坂本啓, 古谷寛, 奥泉信克, 渡邊秋人, 川端信義, 「複合材円筒ブーム構造の航空機実験における展開挙動の数値解析」, No. B04, 第32回宇宙構造・材料シンポジウム, 神奈川県相模原市, 2016年12月9日.
- 13. 下田優弥, 渡辺和樹, 坂本信臣, 倉富剛, 内藤佑貴, 坂本啓, 中西洋喜, 山崎政彦, 「超小型衛星による薄膜展開技術の実証に向けたステレオカメラシステムの設計」, No. 2I16, 第59回宇宙科学連合講演会, 鹿児島県鹿児島市, 2015年10月7-9日.

展示会

- 東京大学駒場博物館, 特別展「構造折紙展」, 2016年9月10日～10月2日, 宇宙実証機OrigamiSat-1展開膜のモデル展示