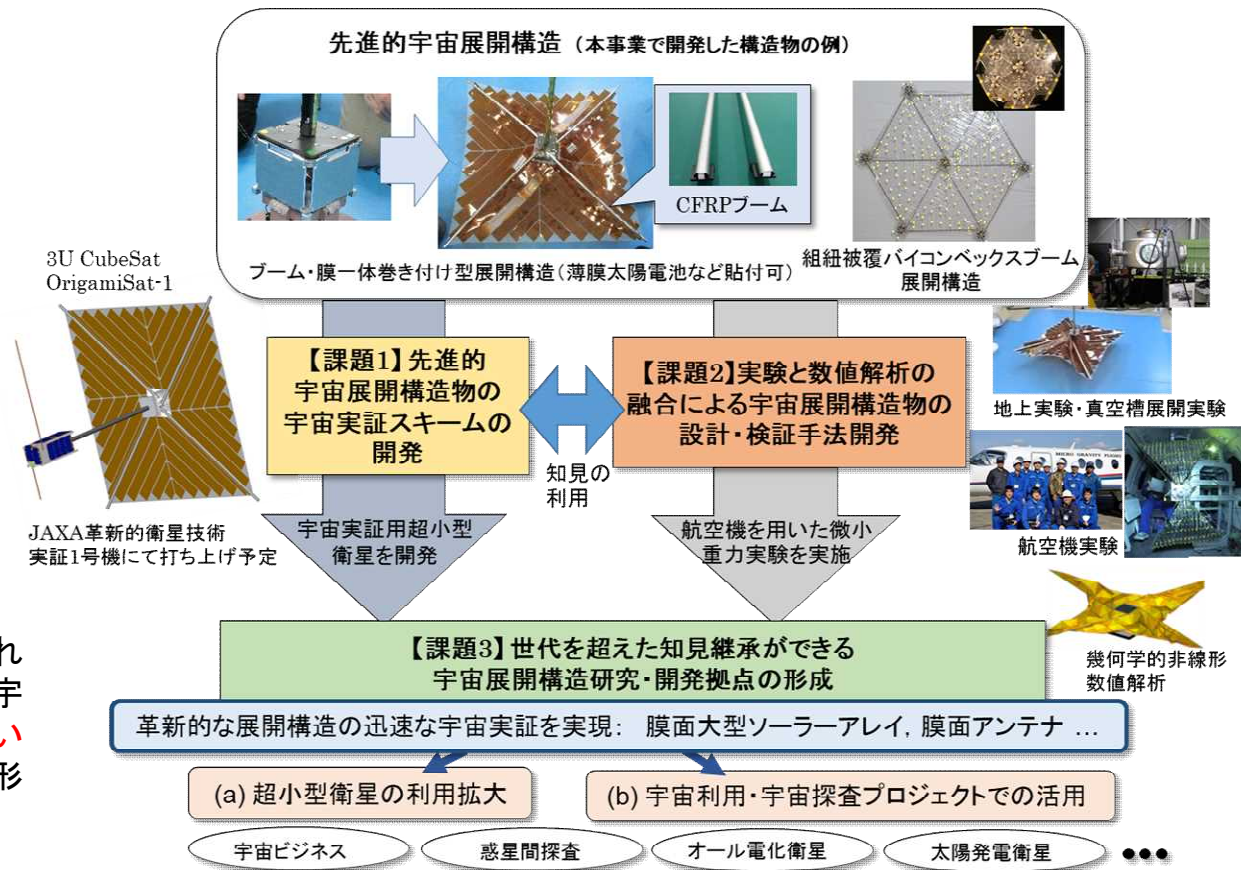


# 「革新的宇宙科学を切り拓く先進展開構造の研究・開発拠点形成」の成果について

研究 開発 体制	主管研究機関	東京工業大学	研究 開発 期間	平成26年度～ 平成28年度 (3年間)	研究 開発 規模	予算総額 (契約額) 76百万円		
	研究代表者名	准教授 坂本啓				1年目	2年目	3年目
	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				23.0百万円	27.6百万円	25.0百万円

## 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

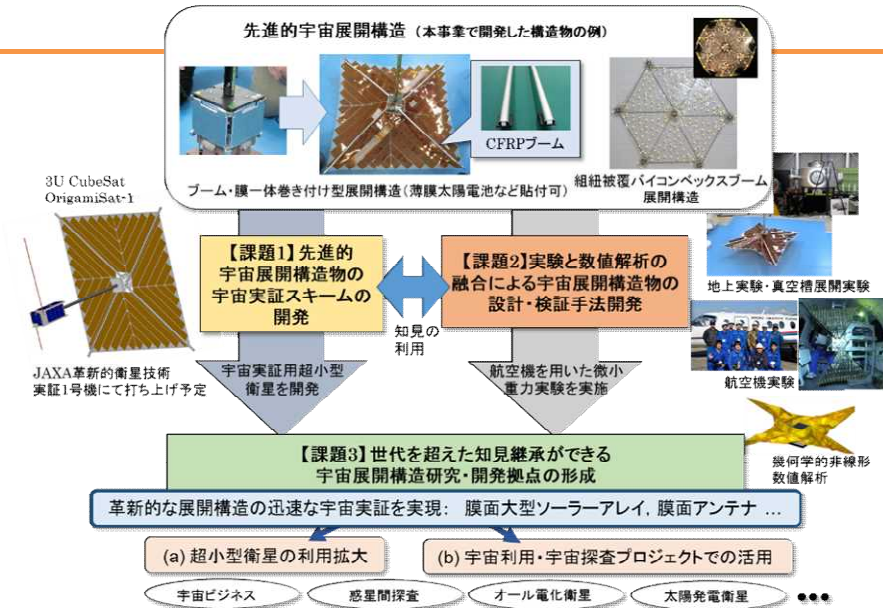
先進的宇宙展開構造開発に資する宇宙実証スキームを構築する目的で、本事業ではパイロットプロジェクトとして3U CubeSat「OrigamiSat-1」(10cm×10cm×34cm, 4kg)を開発する。

### 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で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。

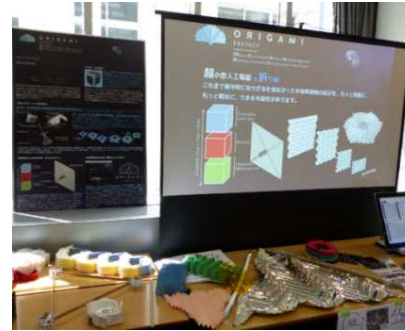
### (1) 市民向け講演会の実施(於:東京工業大学)

- ✓ 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。



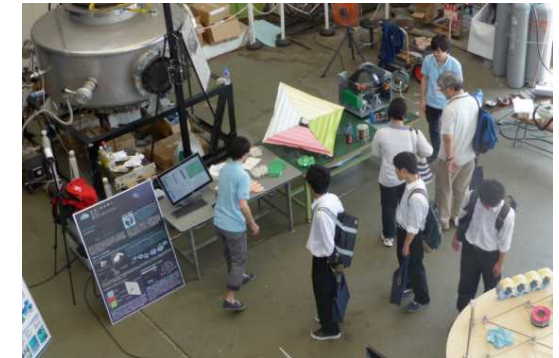
### (2) 東京工業大学の研究・開発環境の公開

- ✓ 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。



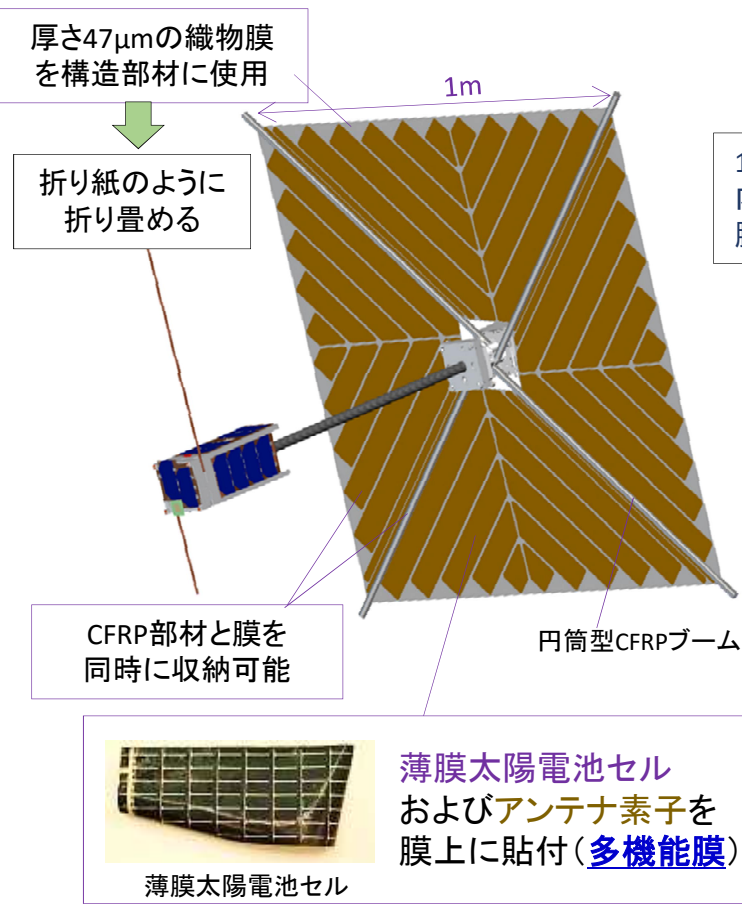
# ① 「先進的宇宙展開構造物の宇宙実証スキームの開発」

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



3つの主要ミッション

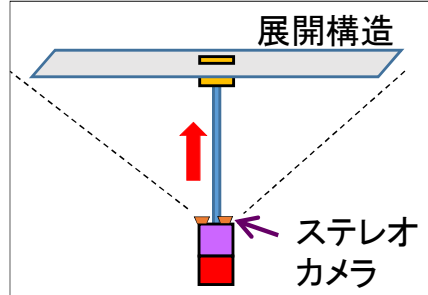
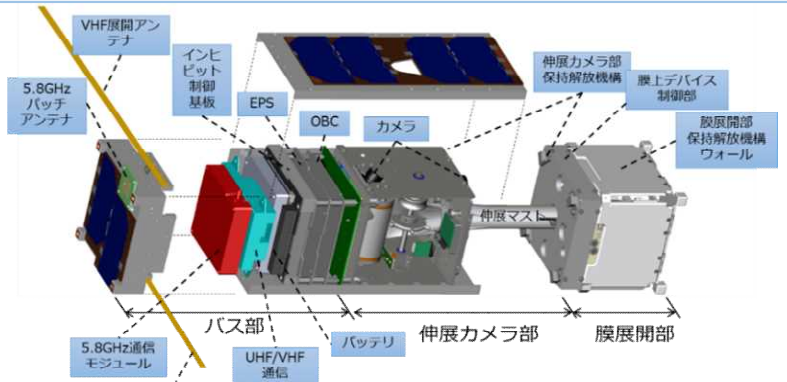
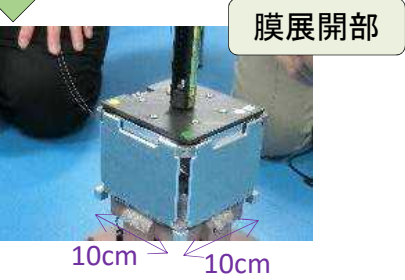
### OrigamiSat-1のミッション:

- ✓ 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

1U Cube(10cm×10cm)内に1m×1mの多機能膜を収納



薄膜デバイスを貼付したままCFRPブームと膜を収納可能



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
- ✓ インフレーターブルブーム・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

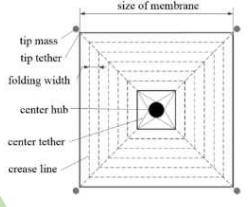
航空機を用いた微小重力展開実験



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



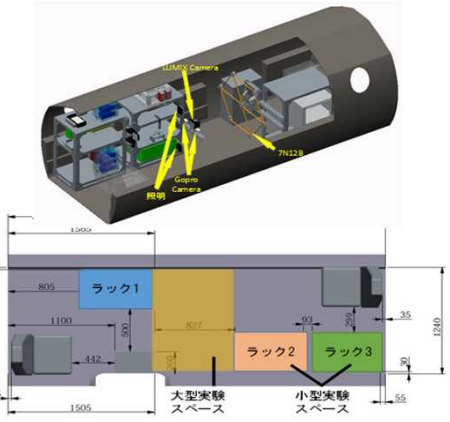
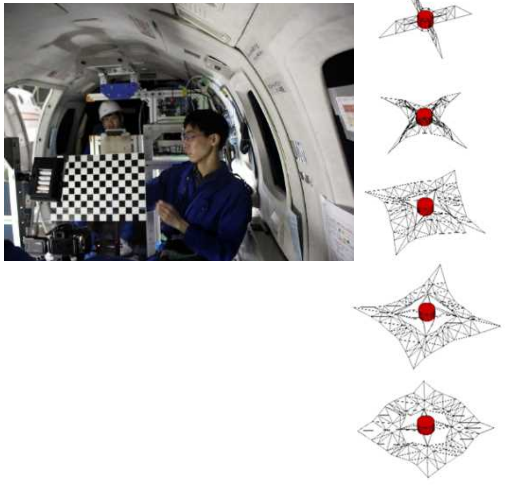
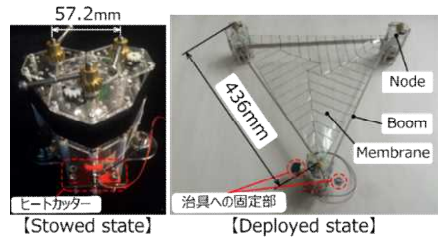
数値解析を用いた実験結果の拡張

### 4. 周辺技術の発展

- ✓ 3次元座標計測システム的设计・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

### 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



**【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。



#### 「宇宙展開構造物の研究開発拠点ORIGAMI」を形成

**大学・研究機関**

**企業**  
タッグを組んで宇宙実証  
(学生のOJT(4名))

**WEL (株) ウェルリサーチ**  
**サカセ・アドテック株式会社**

- ✓ 豊かな宇宙実証経験
- ✓ 最先端のCFRP技術

- ✓ 多くの技術シーズ:  
・革新的な構造概念  
・高度な数値解析技術

**OrigamiSat-1 (FY2018)**

**OrigamiSat-2 (FY2020)**

ORIGAMI実験プラットフォーム

**【成果6】** 上記①②の取り組みを若手3名の中核研究者がベテランの助言のもとで主導  
**【成果7】** ①②の取り組みを文書化し方法論としてまとめた  
**【成果8】** 計5回のワークショップを開催し、「宇宙構造物ロードマップ」を作成

✓ 「宇宙構造物ロードマップ」の中で、将来の宇宙利用・宇宙科学に資する宇宙実証構想を示した。



2015年8月の東工大での異分野研究者によるワークショップの様子

#### 構造系研究者 各種ワークショップ・シンポジウム開催実績(参加人数)

- ALSSロードマップ作成WS(2017/3) (13名)
- ALSS熱設計と構造物WS(2015/8) (20名)
- ALSSサイエンスカフェ(2016/11) (14名)
- スペーステックハッカソン(2017/2) (39名)
- 駒場博物館展示・ギャラリートーク(2016/9) (30名以上)
- 研究開発環境の公開(2拠点、計9回) (1,000名以上)
- 東工大での高校生・受験生向け講演会(2回) (500名以上)

一般向け

# その他の研究開発成果

これまで得られた成果 (特許出願や論文発表数等)	特許出願	査読付き 投稿論文	その他研究発表	実用化事業	プレスリリース・取材対応	展示会展展
	国内 : 0 国際 : 0	国内 : 0 国際 : 0	国内 : 13 国際 : 17	国内 : 0 国際 : 0	国内 : 3 国際 : 0	国内 : 1 国際 : 0
	受賞・表彰リスト		特になし			

## 成果展開の状況について

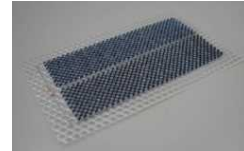
### 1. OrigamiSat-1衛星コンポーネントの事業化検討

本事業で開発された汎用性が高い衛星コンポーネントとして以下があり、宇宙実証の後に事業化の可能性がある。

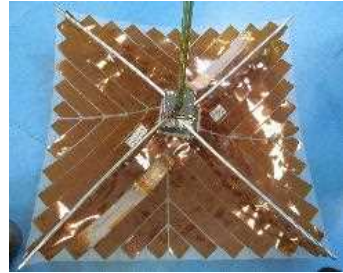
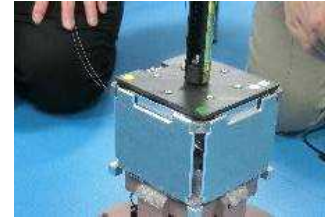
- (i) 多機能展開膜： 全面に薄膜デバイスを貼付可能であり、簡素な保持解放機構のみでブームの弾性力により自己展開する。
- (ii) 軌道上計測システム： 1Uサイズ（10cm立方）の小容積に収まりながら1mのCFRPマストを伸展可能で、5つのカメラを有する。
- (iii) 球状太陽電池アレイ： 膜上に貼付し収納可能なほど薄く、太陽入射角への依存度が低い。

### 2. 宇宙科学プロジェクトへの貢献

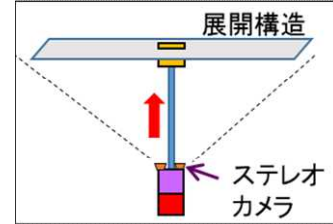
- ✓ OrigamiSat-1での薄膜太陽電池の宇宙実証、数値解析技術の高精度化は次世代ソーラー電力セイルなどのミッションに活用しうる。



球状太陽電池アレイ  
(スフェラーパワー(株))



多機能展開膜(1Uサイズ)



展開構造軌道上計測システム(1Uサイズ)

## 今後の研究開発計画

今後とも、大学と企業の若手が主導的に技術シーズを実機レベルまで引き上げるリスクの高い宇宙実証機開発を行っていく主体として本事業の拠点を存続する。当面はOrigamiSat-1打ち上げ・運用と、軌道上データも利用した相似則に基づく大型展開構造の設計・検証手法の開発を継続する。新たな宇宙実証ミッション構想それぞれで予算を獲得し、革新的衛星技術実証2号機搭載を目指してOrigamiSat-1での試みを反復・発展させていく。この活動により以下の実現を目指す。

- 宇宙利用・宇宙探査プロジェクトでの貢献： 電気推進方式のオール電化衛星、あるいはその先にある太陽発電衛星に向けた大型ソーラーアレイの開発。宇宙科学の発展に貢献する高精度展開アンテナの実現。
- 超小型衛星の利用拡大： 超小型衛星ミッション、宇宙ビジネスを促進させる軽量・高収納率なソーラーアレイ、平面アンテナの実現。
- 企業での事業化： OrigamiSat-1で開発した機器の汎用性を高めるとともに、新たな企業の参入を促す。
- 学術的貢献： いま世界トップレベルにある日本の展開構造研究を宇宙実証を通してレベルアップし、国際的に研究を牽引する。

# 事後評価票

平成29年3月末現在

1. 課題名 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
2. 主管実施機関・研究代表者 東京工業大学・坂本啓
3. 再委託機関 日本大学・サカセアドテック（株）・（株）ウェルリサーチ
4. 事業期間 平成26年度～平成28年度
5. 総事業費 76百万円
6. 課題の実施結果
(1) 課題の達成状況
「所期の目標に対する達成度」  本課題では、若手研究者が中心となって宇宙実証のための超小型衛星を1機開発することを通じ、将来の超小型衛星～大型衛星の基盤技術となりうる先進的な宇宙展開構造物を創出する研究・開発拠点を形成することを目指して、以下3つを達成目標としている。以下に述べる根拠の通り、目標すべてを達成し、新たな協力企業2社の参入があり、また30件の国内外での学会発表を実施するなど、産業界・学術界の両方に影響を与える拠点が形成できた。 <b>① 先進的宇宙展開構造物の宇宙実証スキームの開発</b> ✓ 膜構造など先進的宇宙展開構造設計のために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、実証機会は希少であった。そこで宇宙実証スキームを構築する目的で、本課題ではパイロットプロジェクトとして3U CubeSat「OrigamiSat-1」(10cm×10cm×34cm, 4kg)を開発した。本衛星はJAXA「革新的衛星技術実証1号機」テーマとして採択され、平成30年度打ち上げを予定している。 ✓ OrigamiSat-1のメインミッションである「多機能展開膜」の供試体として、10cm立方(1Uサイズ)の筐体に収納可能で1m×1mサイズに展開する先進的展開構造を新規に開発した。 ✓ 継続的な宇宙実証実験を可能にする「実験プラットフォーム」として、「軌道上での展開構造物の展開挙動・展張形状の計測システム(1Uサイズ)」および「購入品のCubeSat機器を積極的に利用したバス部(1Uサイズ)」を開発した。 <b>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</b> ✓ 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



小重力実験を実施した。航空機実験では6日間で9種類119パターンの供試体を微小重力下で展開可能な効率的な実験手法を構築した。

- ✓ その結果を数値解析と融合させ、多様な構造物を設計・検証する方法論を開発する目的で、2種の展開構造様式の数値解析モデルを構築、実験データにより検証した。さらにスピン展開膜構造物について構造展開の力学特性からサイズ拡張時の現象を予測する「相似則」を構築し、「設計・検証手法」全体像を構築した。

### 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・企業の若手を主体として、宇宙実証を行いながら先進的な宇宙展開構造物の設計・検証手法を実践的に構築していく拠点の形成を目的に、(i) 計5回のワークショップ等の開催、(ii) 今後の研究・開発ビジョンを示した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(2企業で計4名)を実施した。
- ✓ 宇宙実証を通じた開発の実践手法として「OrigamiSat-1開発プロセス」と「航空機実験手法」を詳細に文書にまとめた。

## 「必要性」

以下2点の評価項目に則して次の点で必要性があり、実施すべき時宜にかなった課題であった。

### (A) 科学的・技術的意義

1. 独創性、革新性： 先進的な展開構造の概念を構築し、実機で使用できる技術として実装していくためには、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求められる。宇宙実証が年々容易になりつつある時宜にあわせ、その開発の方法論を構築し、体制を築き、人材を育成することが必要である。
2. 先導性、発展性： 宇宙展開構造物の分野は、2010年に14m×14mのセイル展開に成功したIKAROSに見られる通り、日本が世界のトップを走っている研究分野であるとともに、宇宙利用において宇宙展開構造物の応用は大きな発展性を有している。そのためには、JAXAのみならず大学と企業のレベル向上が必要であり、先進的宇宙展開構造物の宇宙実証スキームの確立と若手研究者の育成が不可欠である。

### (B) 国費を用いた研究開発としての意義

1. 国や社会のニーズへの適合性
  - ✓ 超小型衛星の利用拡大： 昨今、50kgから100kg未満の超小型衛星の利用が注目されており、超小型衛星を用いた惑星間探査が盛んに計画され、さらに宇宙ビジネス提案も盛んである。しかし超小型衛星では搭載容積の制限から、太陽電池パドルはもとより、フェイズドアレイアンテナなどの展開構造が利用拡大に不可欠となっている。本課題の拠点での研究開発は、超小型衛星による宇宙利用を強力に促進する。
  - ✓ 宇宙利用・宇宙探査プロジェクトでの活用： ソーラーセイルや天文観測用の展開アンテナ、宇宙望遠鏡用のスターシェードやサンシールド、磁気圏観測用伸展アンテナなど、いま革新的な宇宙科学の実現に展開構造は不可欠となっている。さらに電気推進方式のバス開発(オール電化)、大伝送能力を有する HTS (High Through-put Satellite) の必要性が

ら、衛星の発電能力を飛躍的に向上させるソーラーアレイの大型化が強く要請されている。

## 2. 国の関与の必要性

- ✓ 上記の強いニーズはあるが、新たな展開構造物の開発には多額の予算を要し、それでも開発に困難を極める場合が多い。実際、IKAROS セイル膜構造の設計・解析はメーカーには難しく JAXA や大学の研究者が行った。一方で、一大学や一企業では人的及び資金的に宇宙実証を行うことは困難であり、社会からの強いニーズに応えるためには、本課題のように大学が中心となった先進技術供給拠点を醸成することが必要であり、そのためには国の関与による資金面の支援が必要である。

## 3. 若手研究者の育成、科学コミュニティの活性化

- ✓ 多様なシーズ技術を実機レベルに引き上げるためには、今後の研究・開発を担う若手が主導しリーダーシップ能力を発揮する必要がある。そのためには、若手研究者の育成や OJT による経験の獲得が不可欠である。
- ✓ 大学の技術シーズを社会実装へつなげるために、研究者の役割を、論文を書くことだけでなく、革新的技術を宇宙実証していくことへと拡張することは、様々な分野の研究者にも波及効果がある。さらに宇宙で先進的構造展開を行い、成果を広く写真や動画で公表することは、将来の研究開発を担う小・中学生、あるいは高校生の意欲向上にも有用である。

## 「有効性」

本課題での取り組みは以下の2点に則し十分な有効性があった。

### (A) 知的基盤の整備への貢献や寄与の程度

- ✓ 宇宙で実験をしながら研究・開発を行うという新たな知の創出拠点の基盤としての方法論として、「宇宙実証スキーム」「実験と数値解析を融合した設計・検証手法」を実践し、その知見を文書化した。さらにワークショップを通じて「宇宙構造物ロードマップ」を作成、将来ビジョンを整備し、同分野および異分野の研究者たちと共有した。

### (B) 人材の養成

- ✓ 研究代表者をはじめとした若手大学教員、および大学院生らが本課題をリードし、OJT としてリーダーシップを涵養した。
- ✓ 共同実施機関である企業2社の若手技術者と密に連携し、大学と企業が共に宇宙実証および航空機微小重力実験を実践した。その過程で大学院生4名を企業に派遣しOJTを実施した。これにより、大学・企業の若手の交流を通じた人材育成を実現した。
- ✓ 拠点以外の大学に所属する若手教員・大学院生にも門戸を開き OrigamiSat-1 開発に参画することで人材育成を行った。

## 「効率性」

本課題での取り組みは以下の2点に則し、効率性は十分であった。

### (A) 計画・実施体制の妥当性

- ✓ 体制として、主管実施機関である東工大からは3研究室（坂本・古谷・小田／中西）の教員と学生が参加し、連携機関として超小型衛星SPROUTの開発経験がある日本大学宮崎研究室内の教員2名と学生、そして2つの企業が参加した。共同実施機関数を制限することでコミュニケーションを円滑にしつつ、かつ目標を達成するだけの人的リソースを獲得できた。

### (B) 目標・達成管理の妥当性

- ✓ 目標管理を確実にを行い、①～③の目標を達成する成果を期間内に得ることができた。特に本課題の期間で、課題開始時にはまだ構想段階でしかなかったCubeSat(OrigamiSat-1)を、イプシロンロケットでの打ち上げが決定されるまで新規開発できた。以上より、目標・達成管理は妥当であったと言える。

## (2) 成果

### 「アウトプット」

本課題での成果をまとめると以下となり、所期の目標との関係から十分なものと判断できる。

#### ① 先進的宇宙展開構造物の宇宙実証スキームの開発

**【成果1】宇宙実証スキームの獲得：**パイロットプロジェクト3U CubeSat「OrigamiSat-1」(10cm×10cm×34cm, 4kg)を開発し、打ち上げ環境に対応した衛星システムの開発手法を獲得した。本衛星は、2016年2月にJAXA革新的衛星技術実証1号機搭載機として選定された。

**【成果2】多機能展開膜の新規開発：**CubeSat筐体に収納可能で1m×1mサイズへ展開し、膜上に薄膜デバイス(薄膜太陽電池、アンテナ、球状太陽電池)を貼付した「多機能展開膜」を開発した。具体的には、膜全体に薄膜デバイスを貼付できる折り畳みパターン／長期収納してもヘタリの少ないCFRP-金属のハイブリッドブーム／周長差を伸縮で吸収し高収納率を実現する織物膜／展開を阻害する粘着成分が残留しない接着・固定方法を開発した。

**【成果3】実験プラットフォームの新規開発：**継続的な宇宙実証実験を可能にする「実験プラットフォーム」として、OrigamiSat-1のサブシステムである「軌道上での展開構造物の展開挙動・展張形状の計測システム(1Uサイズ)」および「購入品のCubeSat機器を積極的に利用したバス部(1Uサイズ)」を開発した。前者では、展開膜から離れて計測するための1m伸展可能な伸展マストの収納・展開機構を開発し、さらにステレオ視用カメラ2台・動画カメラ・バックアップ用の側面カメラ2台の5台のカメラを用いた軌道上計測を可能にした。

#### 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

**【成果4】微小重力展開実験手法の構築・実践：**ダイヤモンドエアサービス社の航空機MU-300

を用いて6日間で119パターンの供試体を微小重力下で展開するために、効率的な実験手法を構築し、実現した。

**【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：** 実験結果を数値解析と融合させ、多様な構造物を設計・検証する方法論を開発する目的で、2種（組紐被覆バアイコンベックスブーム構造／OrigamiSat-1構造）の先進展開構造様式の数値解析モデルを構築、検証した。さらに構造展開の力学方程式に基づき、サイズや重力・空気力などの有無による現象の変化予測する「相似則」を構築し、地上実験／微小重力実験を用いて評価した。

### 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

**【成果6】若手人材育成：** 企業での大学院生のOJT（2企業で計4名）を含み、企業2社と2大学とが密に連携し、大学と企業それぞれで、ベテランから助言をもらいながら若手が主導して開発を行うことで、若手人材の技術力・リーダーシップ力を育成した。

**【成果7】知見の文書化：** ①宇宙実証スキーム開発、②航空機実験手法、を詳細に文書化し、方法論としてまとめた。

**【成果8】ワークショップ開催とロードマップ作成：** 平成27・28年度に計5回のワークショップ等を開催し、(a)宇宙構造系の研究者、(b)宇宙工学の他分野の研究者、(c)宇宙分野のメーカー技術者、(d)宇宙に興味を持つ学生・若手社会人、たちと議論した。これらの議論から「宇宙構造物ロードマップ」を作成し、今後もOrigamiSat-1のような宇宙実証を大学・企業が連携して実施し「先進技術開発拠点」として継続していく方針を示した。

「アウトカム」 （平成29年6月末時点）

効果・効用（アウトカム）

- ✓ **企業連携：** サカセアドテック社が多機能展開膜、ウエルリサーチ社が伸展マスト収納・展開機構を含む実験プラットフォーム、という企業だけでは研究要素が多くリスクが高い機器の開発を達成したことで、大学と企業が連携して実証機レベルの技術開発を実施できる実例を示した。
- ✓ **宇宙探査への貢献：** JAXAでのIKAROS後継機に搭載される薄膜太陽電池をOrigamiSat-1に搭載し評価する予定である。また、膜面構造の数値解析を用いた設計・検証手法については月1回の宇宙科学研究所の会合で共同して開発を続けている。
- ✓ **学術的貢献：** 先進的な研究開発の成果として、国際会議における17本の発表、国内会議における13本の発表を行い、学術的な貢献を行った。

波及効果（インパクト）

- ✓ **企業の参入：** OrigamiSat-1の宇宙実証機会に対し、当初の2社以外に、これまで宇宙開発に参加経験がない新たな企業が東工大との共同開発に参加した。スフェラーパワー（株）は多機能膜上での球状太陽電池の実験機器を開発、大鉄精工（株）が衛星全体の筐体の設計を支援し、加工を担当した。

- ✓ **展示・マスコミ取材**：2016年9月駒場博物館での特別展「構造折紙展」において OrigamiSat-1 の多機能展開膜を展示した。またその展示をきっかけに、OrigamiSat-1 が2番組で最先端の折り紙技術として紹介された(2016年10月1日、2017年3月18日)。
- ✓ **国際的なプレゼンスの向上**：アメリカ航空宇宙学会(AIAA)の会議 Scitech2017 の「Spacecraft Structures Lecture and Panel (2017年1月9日)」のパネリストとして研究代表者・坂本が登壇し、「Bridging the Gap from Technology to Spacecraft」というテーマで本課題の試みを紹介した。
- ✓ **学際的なコーディネート**：本研究コミュニティでは、惑星間探査の IKAROS 後継機開発の他に、宇宙科学研究所の電波天文学研究グループと共に展開アンテナ構造の研究も行っている。前述の「宇宙構造物ロードマップ」には宇宙天文学を発展させる超高精度宇宙構造物の宇宙実証構想についても記載しており、本課題の成果の活用が見込める。

### (3) 今後の展望

今後とも、大学と企業の若手が主導的に技術シーズを実機レベルまで引き上げるリスクの高い宇宙実証機開発を行っていく主体として本課題のコミュニティ (Origami Project) は存続する。当面の3年間は科研費事業として OrigamiSat-1 打ち上げ・運用と、軌道上データも利用した相似則に基づく大型展開構造の設計・検証手法の開発を継続する。同時に「宇宙構造物ロードマップ」に記載した新たな宇宙実証ミッションでそれぞれ予算を獲得し、OrigamiSat-1 での試みを反復・発展させ、以下の実現を目指す。

- ✓ **宇宙利用・宇宙探査プロジェクトでの貢献**：電気推進方式のオール電化衛星、あるいはその先にある太陽発電衛星に向けた超大型ソーラーアレイ技術の宇宙実証。加えて、宇宙天文学の発展に貢献する大型超高精度展開アンテナ技術の宇宙実証の実現。
- ✓ **超小型衛星の利用拡大**：超小型衛星に搭載できる大型ソーラーアレイ/デオービット膜/ソーラーセイルの開発により、超小型衛星による大電力ミッション・惑星間探査ミッション・多様な宇宙ビジネスの実現を可能にする。
- ✓ **企業での事業化**：サカセアドテック社、ウェルリサーチ社において OrigamiSat-1 機器の事業化を進めるとともに、より多くの企業と連携を進め、宇宙を実験場として技術シーズを実機レベルへ引き上げる「先進技術供給拠点」としての機能を高める。
- ✓ **学術的貢献**：地上構造物の延長線上にないような新たな構造構築法を模索し、知の創出拠点として、成果を学術論文として発表する。

予想される効果・効用

- ✓ モノを作りながら試行錯誤を繰り返してシーズから実装まで実行できるマインドセットと方法論を有した人材を輩出していく。
- ✓ 頻度の高い宇宙実証により、日本の宇宙展開構造物コミュニティの国際的なプレゼンスのさらなる向上が見込める。

評価点

A	<p>評価を以下の5段階評価とする。</p> <p>S) 優れた成果を挙げ、宇宙航空利用の促進に著しく貢献した。</p> <p>A) 相応の成果を挙げ、宇宙航空利用の促進に貢献した。</p> <p>B) 相応の成果を挙げ、宇宙航空利用の促進に貢献しているが、一部の成果は得られておらず、その合理的な理由が説明されていない。</p> <p>C) 一部の成果を挙げているが、宇宙航空利用の明確な促進につながっていない。</p> <p>D) 成果はほとんど得られていない。</p>
<p>評価理由</p>	
<p>本課題において、若手を主体として大学と企業とが密に連携し、技術シーズを実機レベルにまで引き上げるパイロットプロジェクト（3U CubeSat）を実施することにより、我が国の宇宙展開構造研究を向上させた。また、超小型衛星を用いて宇宙を実験場とする展開構造の研究開発に必要な方法論（「宇宙実証スキーム」と「実験と数値解析の融合による宇宙展開構造の設計・開発手法」）、マインドセット及び将来ビジョンを明確化し、今回のパイロットプロジェクトに他の宇宙実証プロジェクトが続くための道筋を整備した。</p> <p>以上より、本課題は相応の成果を挙げ、宇宙航空利用の促進に貢献している。</p> <p>今後、2018年度に打ち上げ予定の OrigamiSat-1 の軌道上実証実験で得られたデータの評価・解析を行い、そこで得られた知見を研究開発・設計へ反映する等により、拠点としての更なる展開、発展を期待する。また、企業との連携を強化し、本課題の成果の事業化に向けても積極的に取り組むことを期待する。</p>	