

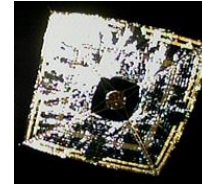
# Pa.09 大型軽量膜面展開構造物の研究開発

○奥泉信克, 宮崎康行, 佐藤泰貴(JAXA), 古谷寛(東工大), 森治, 松下将典(JAXA), 渡邊秋人(サカセ・アドテック)

## 本研究の背景と目的

軽量で柔軟な膜面や伸展ブームを用いた膜面展開構造物は、従来のパネルやバネ・ヒンジなどを用いた展開構造物と比較し、革新的な大型化や軽量化、高効率化を可能にすることが期待される創造的、発展的な研究分野である。近年、ソーラーセイルやデオービットセイル、薄膜太陽電池アレイなどの研究開発が世界的に活発であり、軌道上実証も行われるようになった。日本では、小型ソーラー電力セイル実証機IKAROSとその後継機や、関連するブーム展開型膜面構造物などの研究開発を通じて貴重な知見や課題が明らかになっており、高い展開信頼性や形状精度などが要求される宇宙科学ミッションにおいて膜面展開構造物を実用化するには、多くの研究が必要である。

本研究では、超軽量薄膜太陽電池パドルや超小型ソーラーセイル、膜面アンテナ、スターシェイドなどへの応用を視野に、収納展開方式、材料、構造解析法、製造法、試験計測法、形状制御法などについて総合的に研究し、膜面展開構造物の開発手法を構築して、将来的に超小型衛星や観測ロケットなどへの搭載による宇宙実証を目指す。様々な用途や要求に対応するため複数の膜面展開構造システム案を考え、展開構造・機構および薄膜太陽電池膜面や膜面アンテナの設計、試作、地上試験を行い、必要な技術を開発する。本報告では、本研究における各種研究課題を概説するとともに、今年度検討している4種類の膜面展開構造物の概要を紹介する。



IKAROS (JAXA, 2010)



ROSA (AFRL, 2017)



LightSail2 (惑星協会, 2019)



NEA Scout (NASA, 2021)

## 膜面展開構造物に関する主な研究課題

### ● 膜面展開構造・機構方式

膜面構造を太陽電池パドルやアンテナなどの様々な用途に応用するには、遠心力展開型ではなく三軸姿勢制御衛星に搭載可能なブーム展開型や膜面自体に剛性を持たせた方式が適している。ブームの伸展方法や膜面の折り畳み展開法の異なる複数の方式を考え、各種ミッションへの適応性検討のため、それぞれの質量、剛性、収納効率、展開挙動、展張形状、地上試験法などを試作試験や解析によって比較する。

### ● 地上展開試験計測法

軽量で柔軟な膜面展開構造物は、空気と重力の影響を大きく受けるため、従来の展開構造物のような地上試験は困難であり、サイズや展開方式によっては全く不可能になる。そのため、ブームや膜面の吊り下げや下方支持、空気浮上などによる重力補償法の開発、地上試験が行いやすい展開方式の考案、試験が不可能な場合の信頼性評価法の開発を行う。展開後の展張形状や剛性の計測についても同様である。

### ● 薄膜デバイス搭載膜面の設計、製作、収納・展開特性、性能評価

薄膜太陽電池やアンテナ素子などのデバイスを搭載した機能性膜面構造物では、デバイスやハーネスを膜面とともに収納・展開するため、それらの厚みや許容曲率を考慮した膜面の設計や製法、収納状態や展開挙動、展張形状へのデバイスやハーネスの影響を明らかにする。また、膜面展張状態の発生電力やアンテナ特性などを計測評価する。

### ● 収納状態、展開挙動、展張状態の解析法

膜面構造物に対して、固有値解析や強度解析などの通常の構造解析を行うには、収納状態の膜構造の構造数学モデルが必要である。また、地上試験による検証が困難な展開挙動や展張形状の予測にも、数値解

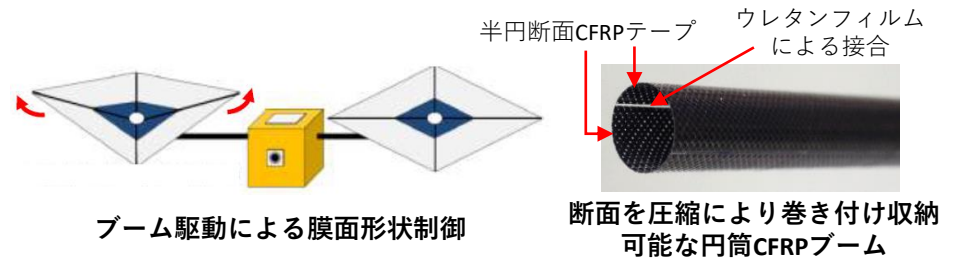
析が必須である。IKAROSでは、非線形FEMや多粒子近似法による展開挙動の数値解析の妥当性は確認できたが、軌道上の展張形状は解析結果と大きく異なっており、その解明に長期の検討を要した。本研究では、それらの知見をもとに、実用的な構造解析法を開発する。

### ● 展張状態の剛性や形状精度の向上法、形状制御法

展張状態において膜構造に必要な剛性を確保するには、伸展ブームの強度・剛性や膜面に負荷する張力の適正化などが必要である。そのため、全体質量やブームの座屈、膜面のシワなどを考慮した構造設計法を検討する。膜面のシワやねじれによる面精度の低下や太陽光圧による姿勢擾乱トルクの発生を抑えるため、ブームの駆動や膜上のアクチュエータ等による膜面形状制御法を開発する。

### ● 複合材伸展ブームの収納展開特性、長期収納による経年変化特性

膜面構造によって従来より大幅な軽量化を実現するには、巻き付け収納可能でブーム自身の弾性力で展開可能な複合材のコンベックステープや円筒ブームが効果的である。しかし、複合材ブームを長期巻き付け収納すると、展開力が低下して伸展形状が悪化する。そのため、将来の大型化にも対応可能な軽量高剛性複合材伸展ブームを開発するとともに、長期収納に対する特性変化の解明と対策を行う。



**試作試験中の膜面展開構造案** 下記の4種類の展開構造モデルについて、薄膜太陽電池パドルなどへの応用を考慮し、ブームや膜面、展開構造・機構の開発、吊り下げや下方支持、空気浮上などの重力補償法の考案、展開試験などを進め、それぞれの特徴や課題を検討している。

