

○松下 将典、高尾 勇輝、杉原 アフマツ清志、森 治、佐藤 泰貴、宮崎 康行、奥泉 信克、川崎 繁男(宇宙研)、渡邊 秋人、伊藤 裕明、堀 利行(サカセ)、中村 和行、畠山 千尋、久原 隆博(TechSol)、楠本 哲也、山田 修平、藤田 雅大、名田 悠一郎(東大・院)、大平 元希、山川 真以子、竝木 芳(総研大)、君島 雄大、池田 宏太郎(青学大・院)、杉浦 圭佑(青学大)、高橋 秀幸、藤田 彩花(東海大・院)、塚本 悠一郎、武田 真司、小池 修平、坂本 啓、白根 篤史、岡田 健一(東工大・院)、HELIOSチーム

概要

2022年度打上げ予定の革新的衛星技術実証3号機の搭載コンポーネントとして採択された「Society 5.0に向けた発電・アンテナ機能を有する軽量膜展開構造物の実証」HELIOSの全体と特に膜構造部の2020年度開発について報告する。HELIOSでは、薄膜太陽電池・アンテナを搭載したポリイミド薄膜(914mm x 914mm)を折り畳んで収納した状態から4本の円筒形CFRPブームおよびモータを用いて展開し、その展開構造や発電・アンテナ機能を実証する。

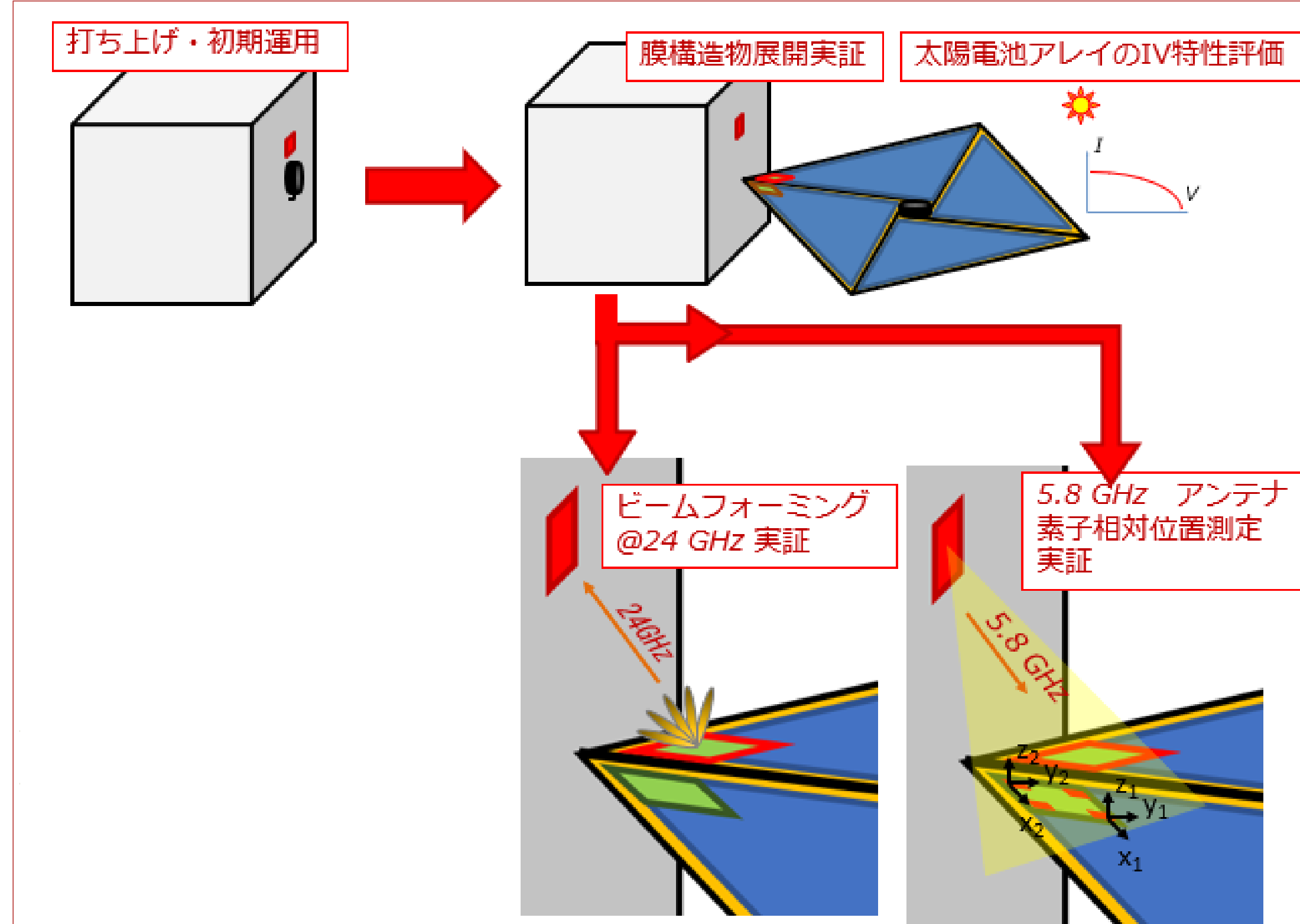
ミッション

■ミッション概要

発電・アンテナ機能を付与した軽量・高収納な膜構造物を実証する。これにより、低コストな小型衛星を高性能(大電力/大容量5G通信/干渉計による高分解能観測)化でき、Society 5.0(ビッグデータ・AIを活用する社会)の実現等に向けたイノベーション創出が期待される。

■各ミッション

- 1. 太陽電池膜** (薄膜太陽電池を貼付した膜展開構造物)
世界最高200W/kgの展開型太陽電池パドルを実現する技術を実証する。
- 2. 第5世代移動体通信ミリ波アンテナによるビームフォーミング**
展開膜上に高い平面度を要求しないアレーアンテナ送信機を搭載し、非平面を補償するビームフォーミング技術を宇宙環境において実証する。その第一歩として、膜面～衛星本体間の通信を行う。周波数は、5Gの28GHzは周波数申請が困難なため、28GHzアレー用ICを用いながら、通信は28GHzに近いISM (industry science and medical)帯の24GHzで実施する。
- 3. 薄膜アンテナ素子による干渉計実証**
マイクロ波放射計技術の小型化を実現すべく、軽量膜構造物を利用した開口合成技術を実証する。その第一歩として、少数の薄膜アンテナ素子を干渉計にして、膜面～衛星本体間で送受信して運用する技術を実証する。周波数はISM 帯の5.8 GHzで実証する。これは干渉計が実証でき、アンテナ薄膜化できる周波数である。

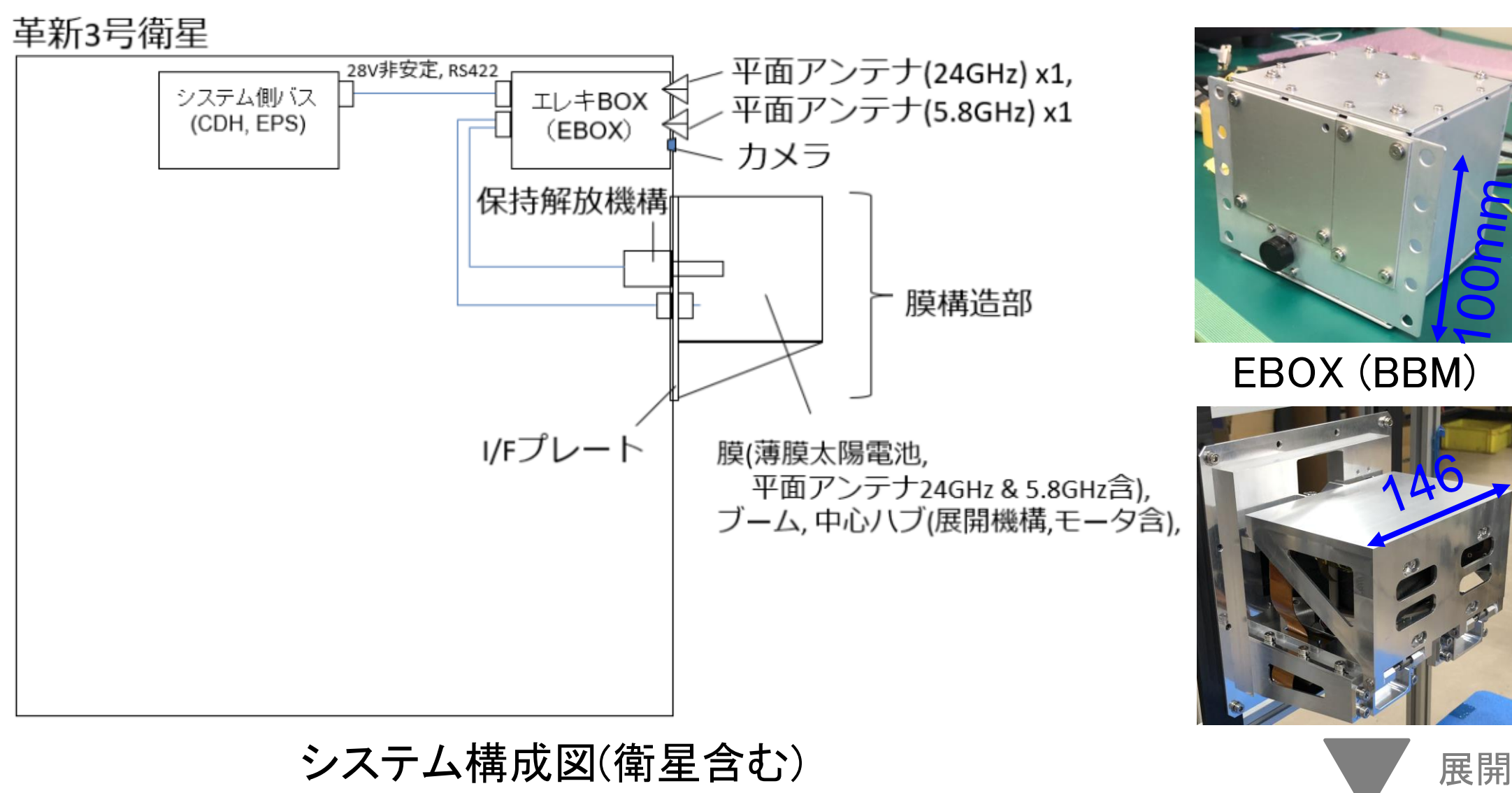


ミッションシーケンス

サクセスクライテリア

実証ミッション	ミニマムサクセス	フルサクセス
太陽電池膜	・膜構造の展開と発電の確認 【確認方法】 出力電圧/電流, IV特性, 温度, 展開確認スイッチ, 静止画取得	・展開挙動の評価 【確認方法】 展開中にカメラで動画撮影 ・短期間(軌道1周回)でのIV特性の評価 ・長期間(1年間)でのIV特性の評価 ・軌道上で長期間(1年間)、太陽電池が動作すること(信頼性の評価) 【確認方法】 IV特性, 温度, 照度(バスの姿勢データを定期的に取得)
第5世代通信ミリ波アンテナ		・第5世代通信ミリ波アンテナの通信パワー計測 【確認方法】 通信パワーの計測 ・第5世代通信ミリ波アンテナのビームフォーミングによるアンテナ非平面度補償 【確認方法】 通信パワーの計測
薄膜アンテナ素子による干渉計		・5.8GHz膜アンテナによる干渉計の動作実証 【確認方法】 コリメーション信号の位相差の計測 ・5.8GHz干渉計による膜形状の計測 【確認方法】 コリメーション信号の位相差の計測

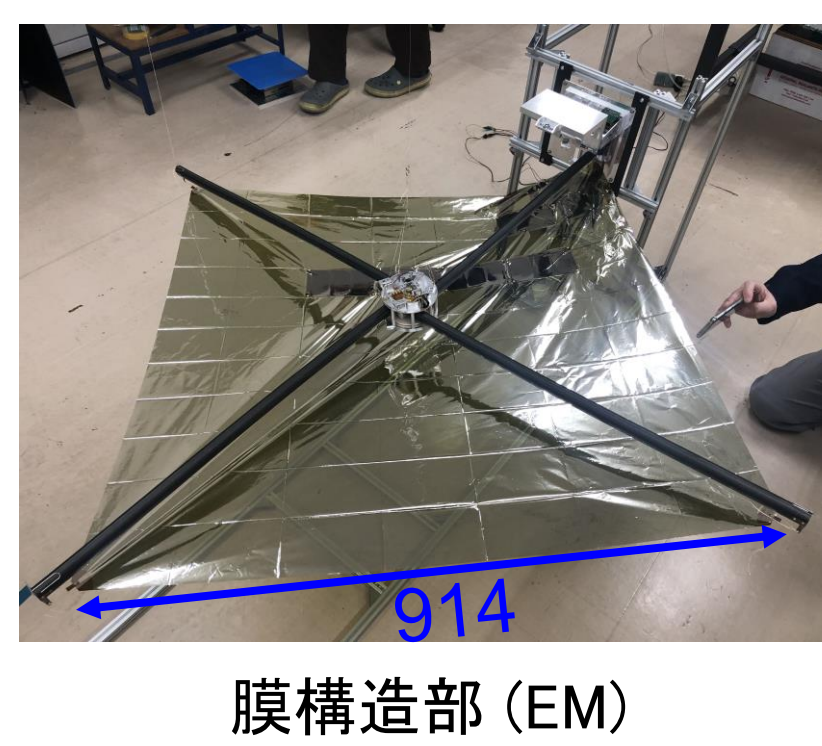
システム



システム構成図(衛星含む)

革新3号衛星の搭載機器であるHELIOSは、2つの構成品からなる。
1. エレキボックス(EBOX)
コマンド/テレメトリデータ処理, 電源供給, 各種制御を行う回路基板がある。

2. 膜構造部
薄膜太陽電池・5Gアンテナ・干渉計アンテナが貼付された膜、膜を保持する固定具、衛星構体に取り付けるI/Fプレートからなる。



膜構造部 (EM)

全体の開発状況

■開発状況

2020年3月中旬に提案書類を提出し、5月末に採択通知を受け開発を開始した。12月末までに、BBM設計、BBM統合試験など各種試験、EBOX(BBM)制御による膜構造部EMの収納/展開試験を実施した。並行して、6月から衛星システム側とのインターフェイス(I/F)調整を続け、衛星メーカー選定RFPのためのICS(B改訂)を11月頭に提出した。12月末以降、選定された衛星メーカーとI/F調整の詳細を詰める。3月末のEM引き渡し(1月末から延期された)に向け、EBOX(EM)の設計・製作中であり、EM統合試験・環境試験を実施していく。

開発計画と進捗

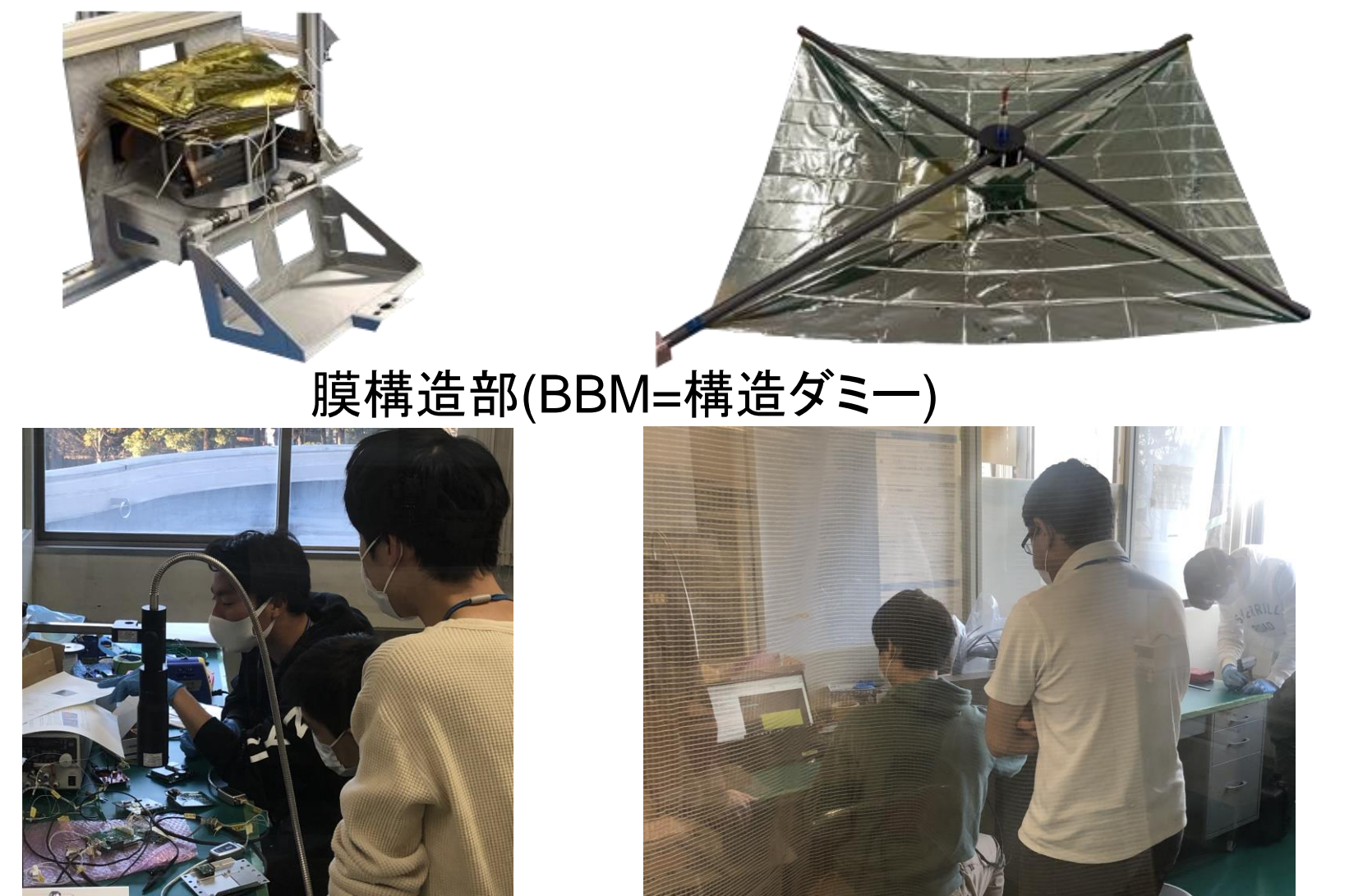
年月	作業
2020年3月	提案書類提出
2020年5月末	採択通知, 開発開始
~2020年8月	BBM設計・製作, 材料特性試験
2020年8~12月	BBM収納/展開試験, 電気試験, 簡易振動試験, 簡易熱真空試験
2020年12月~1月	EM & 熱構造ダミー設計・製作
2020年12月~2月	EM電気統合試験, 収納/展開試験, 振動試験, 熱真空試験
2021年3月31日	EM & 熱構造ダミー引き渡し (マイルストーン)
2021年4月~	PFM設計・製作
2021年5月~7月	PFM電気統合試験, 収納/展開試験, 振動試験, 熱真空試験
2021年7月30日	PFM引き渡し (マイルストーン)
2022~23年度	軌道上実証実験・運用

■開発体制

- 革新3提案代表者(実施責任者)、膜/ブームの設計・製作、ビジネス化検討: サカセ・アドテック(株)
- 太陽電池膜(ビジネス化検討含む)、機器システムとりまとめ、軌道上評価/制御装置(EBOX)の設計・製作: ISAS ソーラーセイル
- 5Gアンテナ: 東工大 (坂本研 & 岡田研)
- 干渉計: ISAS 川崎研

■太陽電池膜のビジネス化検討

- 某企業にヒアリングし、需要があることを確認でき、搭載に向け検討いただくことになった。他2社にもヒアリング予定。
- 某授業で検討を深め、VC等にピッチし、優秀賞(2位/全7組)となり、起業をすすめる程度に高い評価を得た。



膜構造部(BBM=構造ダミー)

EBOX(BBM)電気/機械的統合試験

膜構造部の開発状況

■膜構造部の概要説明

薄膜太陽電池・アンテナが貼付された1m級膜が折り畳まれる。膜の4隅はケブラー繊維を介して円筒CFRPブーム先端に接続される。ブームは中心ハブ内部に巻きつけて収納される。膜が中心ハブに載った状態でカバーに格納される。カバーはフランジボルトアクチュエータで開放、パネヒンジで展開する。膜は、モータ駆動力・ブームの自己伸展力により、約1分で展開する。

■膜構造部EM 収納/展開試験

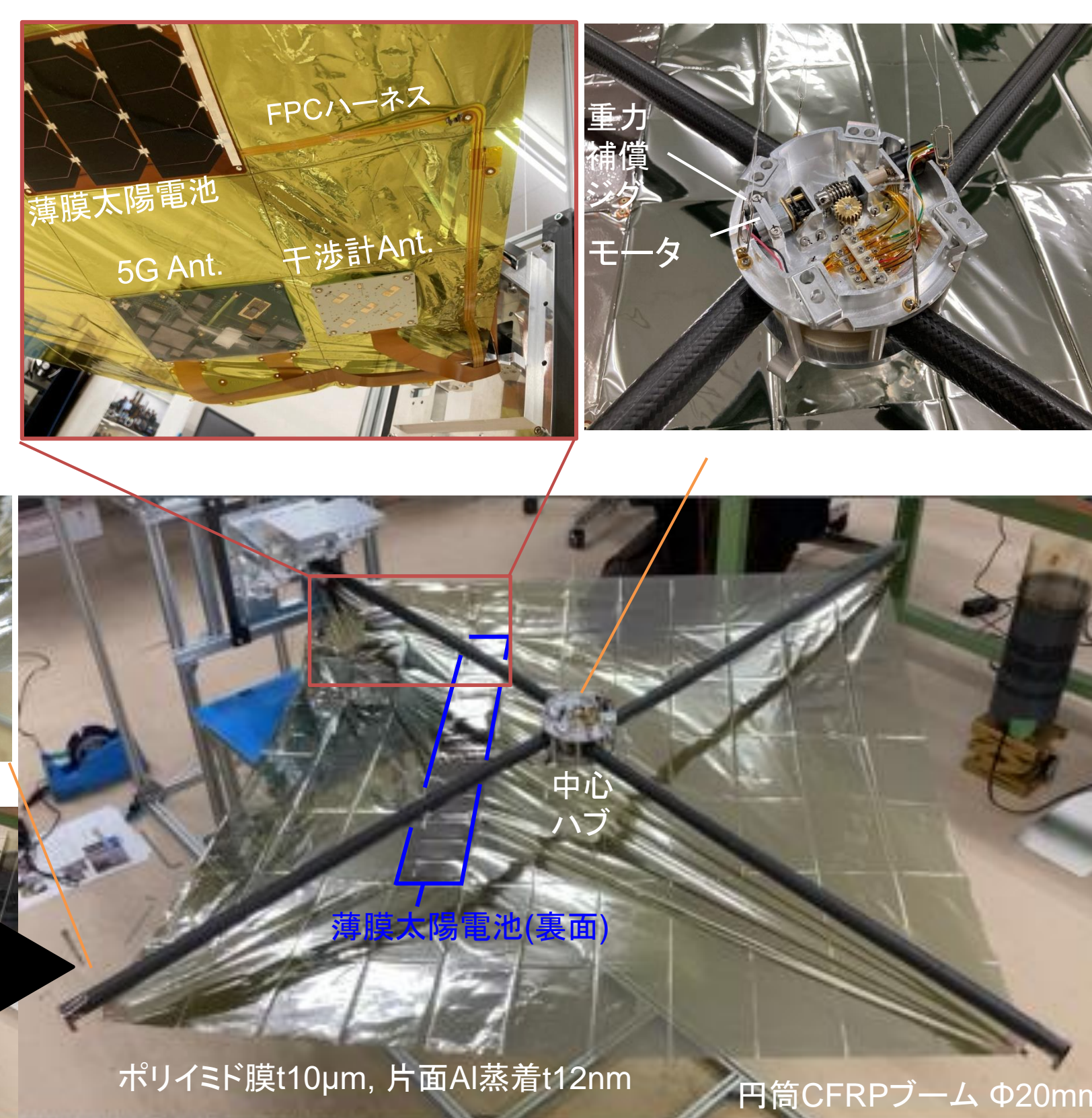


カバー展開



※重力補償として、中心ハブやブーム先端を糸で吊っている。※重力補償の都合、膜構造部を反転(展開後カバーが上、太陽電池等が床側にある)

膜展開



カバー展開

膜をカバー内に収納でき、カバー展開を確認。
※フランジボルトアクチュエータ類が未納のため、その動作確認は未実施課題:
・カバー展開のパネ力が弱い
・熱膨張を考慮してヒンジのガタを大きくしたが、カバーのズレで初動時に接触摩擦が大きいの(シブい)ことがあり得る
対策:
・パネ定数の高いパネに変更
・初動時にカバーを押し上げるパネを追加

膜展開

モータ駆動で膜展開できることを確認。
※モータ初動時はカバーが邪魔で重力補償が難しい。そのため、重力で中心ハブが傾いてカバーにぶつかり、ブーム変形も生じて展開を阻害した。傾きを無くすように手で支えると正常に展開した。手の支えが不要な重力補償できる位置からも正常に展開した。軌道上では中心ハブは傾かないが、重力補償の改良を検討する。

その他

- 膜構造部の質量: 実測1.395kg (MLIなど除く)
→ I/F質量1.945kg以下に収まる見込み
- 簡易なIV特性測定により、薄膜太陽電池の発電は確認できた。
- 他に強度解析、固有値解析も実施した
- 1月以降、EM振動試験、熱真空試験を実施予定