

西日本製造技術イノベーション2024
宇宙ものづくり産業セミナー(西日本総合展示場)
2024年7月5日(金)13:30~16:00

人工衛星用展開構造物と宇宙ビジネス

宮崎康行(JAXA宇宙科学研究所)
miyazaki.yasuyuki@jaxa.jp



実際にビジネスをされているお立場からのお話は中村様からいただけるので、私は、**企業の皆様にもものづくりをお願いする立場・一緒に新規開発をさせていただく立場**で、約60分ほど、お話をさせていただこうと思います。

1. 事前知識

- － 自己紹介
- － 宇宙モノの特徴
- － 人工衛星開発の基本的な流れ
- － 人工衛星および搭載物に用いる材料・構造に対する要求
- － わからないことがある場合には？

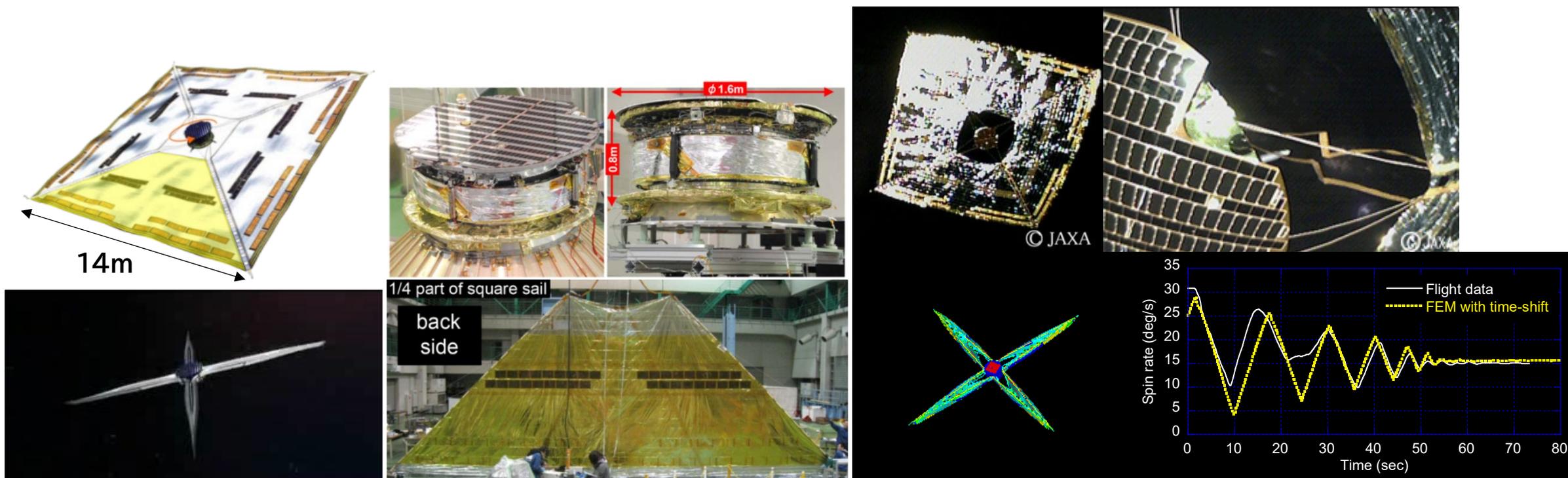
2. 人工衛星用展開構造物(宇宙ビジネスに新規参入する例として)

1. 事前知識： 自己紹介

2020年9月まで、大学にて、①展開宇宙構造物、特に、膜面構造物の運動に関する研究、②超小型衛星開発を通じた学生教育などに従事。2020年10月からはISASにて③科学衛星や深宇宙探査機用の伸展／展開構造物の研究・開発に従事。

【研究・開発例】 小型ソーラー電力セイル実証機IKAROS(2010、JAXA・大学)

– 14m四方のポリイミド膜のスピン展開(無重力下での展開運動・展開後の形状の予測)

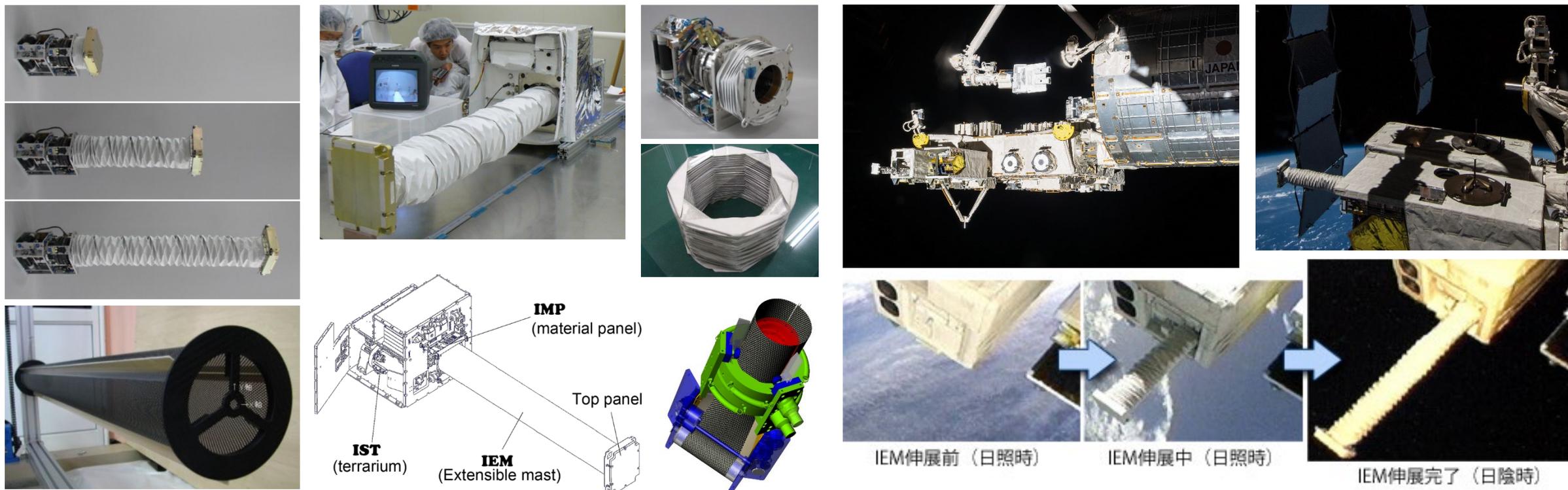


1. 事前知識： 自己紹介

2020年9月まで、大学にて、①展開宇宙構造物、特に、膜面構造物の運動に関する研究、②超小型衛星開発を通じた学生教育などに従事。2020年10月からはISASにて③科学衛星や深宇宙探査機、月面探査用の伸展／展開構造物の研究・開発に従事。

【研究・開発例】 宇宙インフレータブル構造の宇宙実証SIMPLE(2012、産学官)

－ 1.3mの伸展構造物の宇宙ステーション曝露部での伸展(安全性を確保しつつ確実に伸展させる)

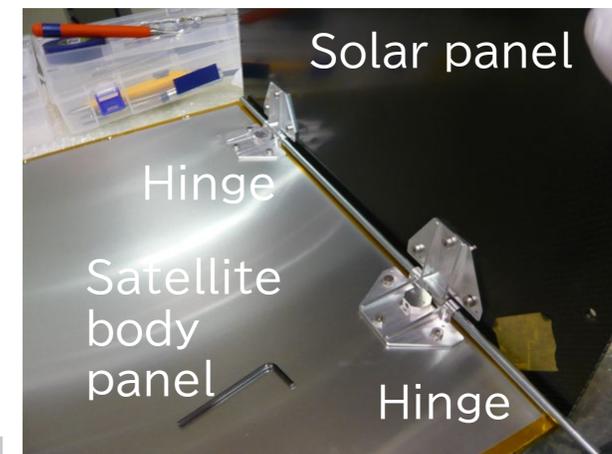
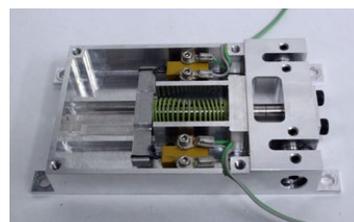
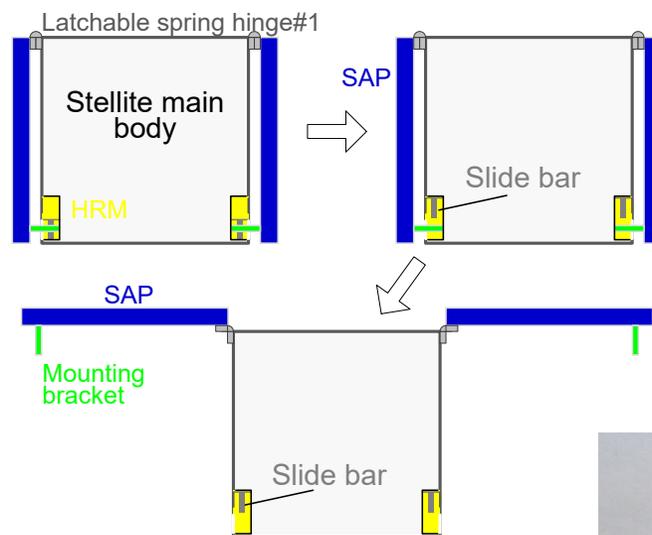
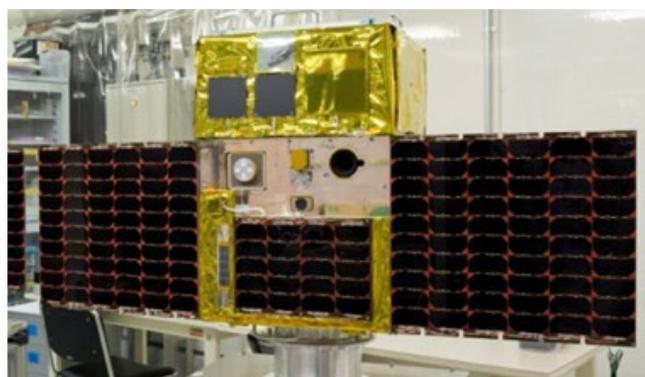


1. 事前知識： 自己紹介

2020年9月まで、大学にて、①展開宇宙構造物、特に、膜面構造物の運動に関する研究、②超小型衛星開発を通じた学生教育などに従事。2020年10月からはISASにて③科学衛星や深宇宙探査機、月面探査用の伸展／展開構造物の研究・開発に従事。

【研究・開発例】 数十kg級超小型衛星用展開デバイス(2014頃、大学・企業)

ー 太陽電池パネルのバネヒンジや打ち上げ時の保持・解放機構を低コスト化



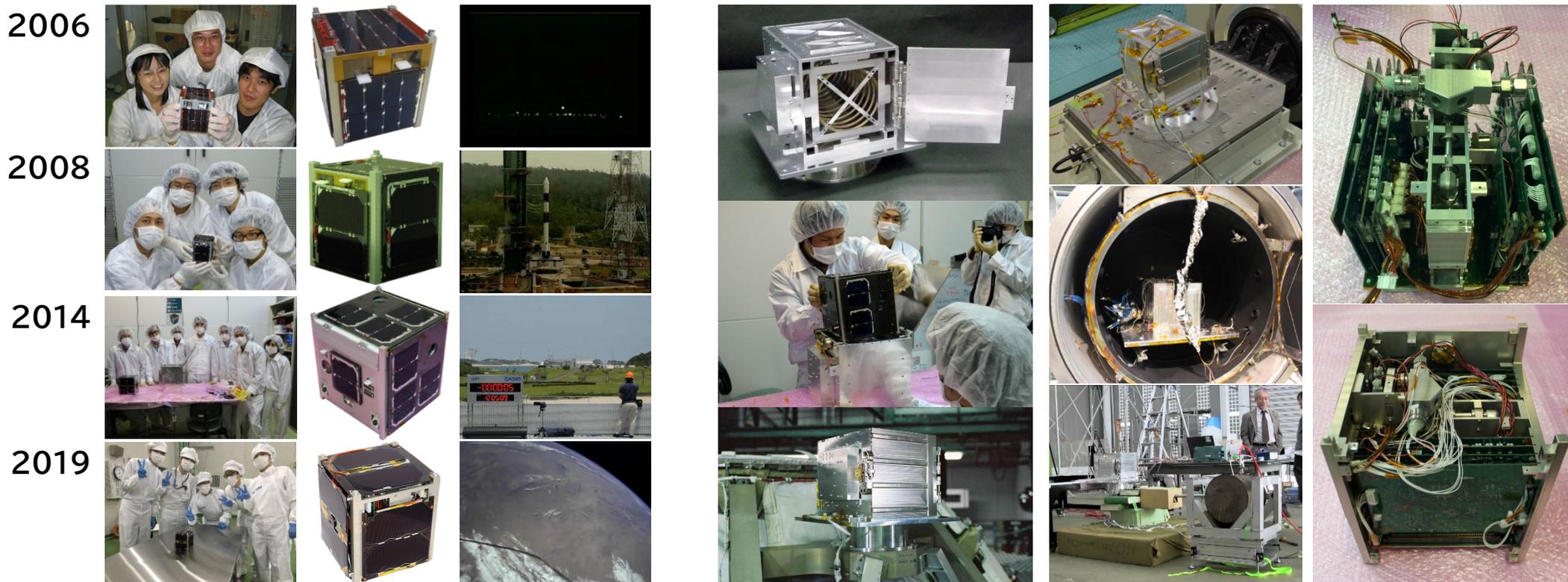
※ HODOYOSHI-3、HODOYOSHI-4、UNIFORM、PROCYONに搭載

1. 事前知識： 自己紹介

2020年9月まで、大学にて、①展開宇宙構造物、特に、膜面構造物の運動に関する研究、②超小型衛星開発を通じた学生教育などに従事。2020年10月からはISASにて③科学衛星や深宇宙探査機、月面探査用の伸展／展開構造物の研究・開発に従事。

【研究・開発例】 CubeSatの設計・開発・運用(研究室内)

－ CubeSatとはいえ、衛星システムの設計から開発(製作・試験)、運用までを一通り経験することは貴重な経験

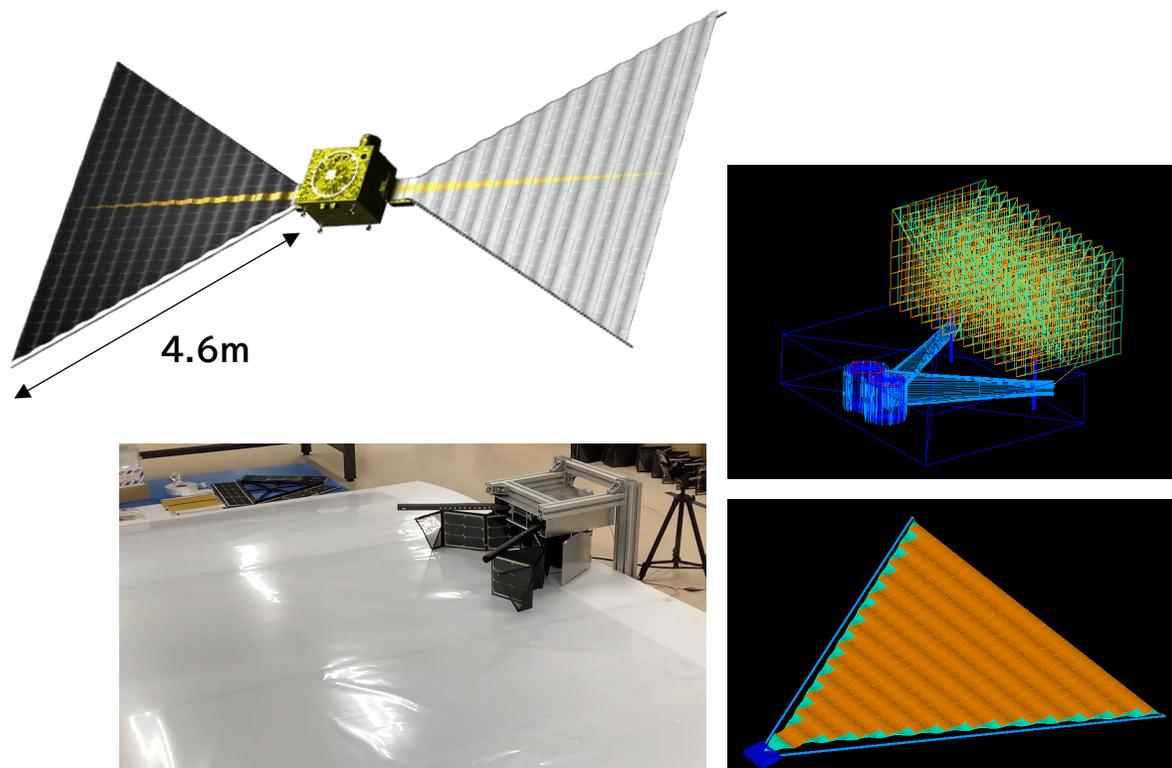


1. 事前知識： 自己紹介

2020年9月まで、大学にて、①展開宇宙構造物、特に、膜面構造物の運動に関する研究、②超小型衛星開発を通じた学生教育などに従事。2020年10月からはISASにて③科学衛星や深宇宙探査機、月面探査用の伸展／展開構造の研究・開発に従事。

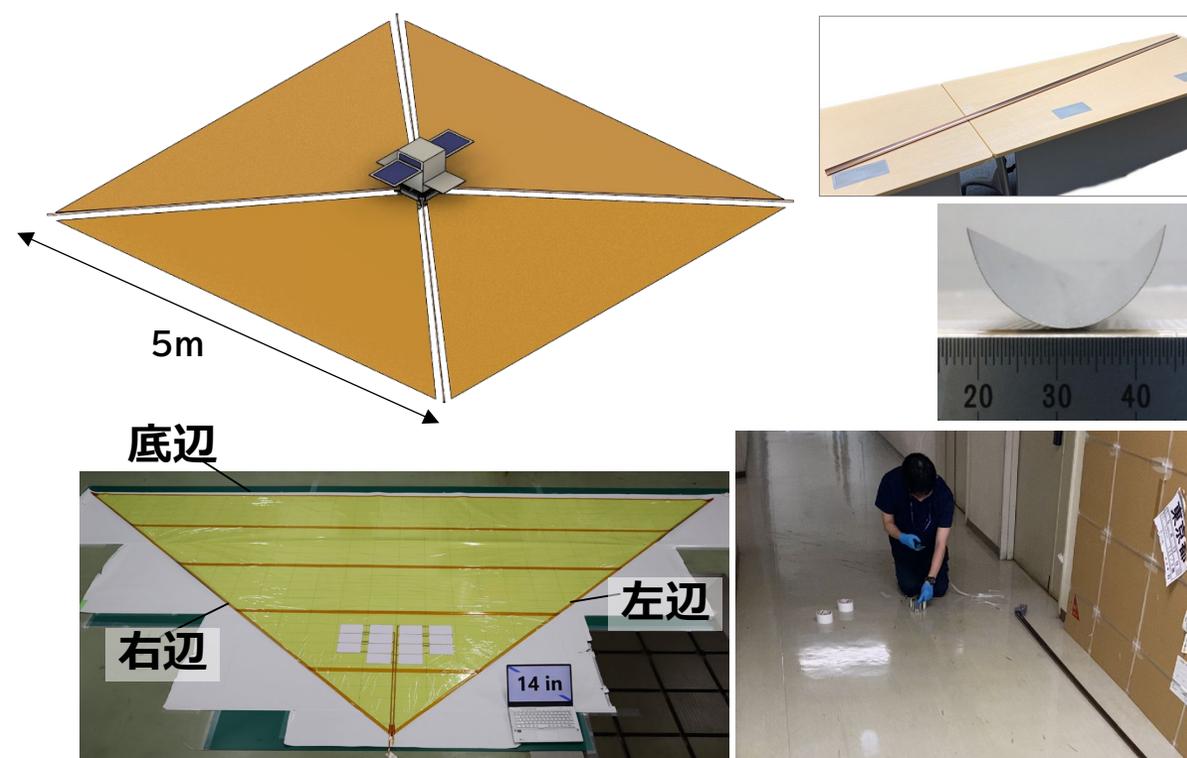
【研究・開発例】 太陽電池アレイ(JAXA・企業)

ー 深宇宙探査機用超軽量太陽電池アレイ



【研究・開発例】 超小型ソーラーセイル(産学官)

ー 薄膜を自己伸展ブームで展開するセイル構造



1. 事前知識：自己紹介

2020年9月まで、大学にて、①展開宇宙構造物、特に、膜面構造物の運動に関する研究、②超小型衛星開発を通じた学生教育などに従事。2020年10月からはISASにて③科学衛星や深宇宙探査機、月面探査用の伸展／展開構造物の研究・開発に従事。

【研究・開発例】 月面天文台用伸展物(産学官)

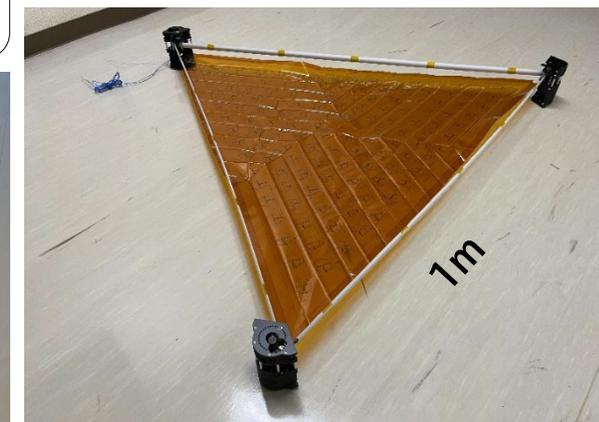
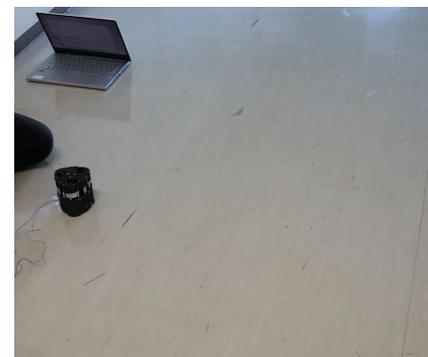
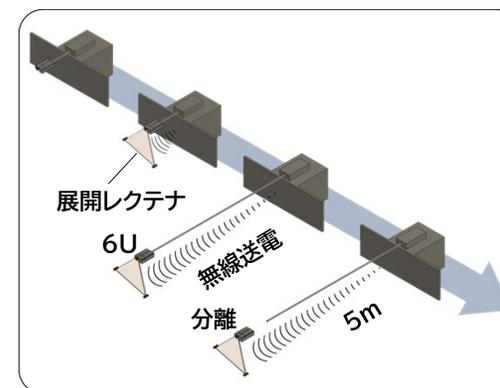
- 伸展式ダイポールアンテナ、および、それを支える伸展式の支柱



月面ランダーから5mの支柱を伸展させて、2.5m×2本のアンテナエレメントを左右に伸展させて、深宇宙から発せられている低周波の電波をとらえる。

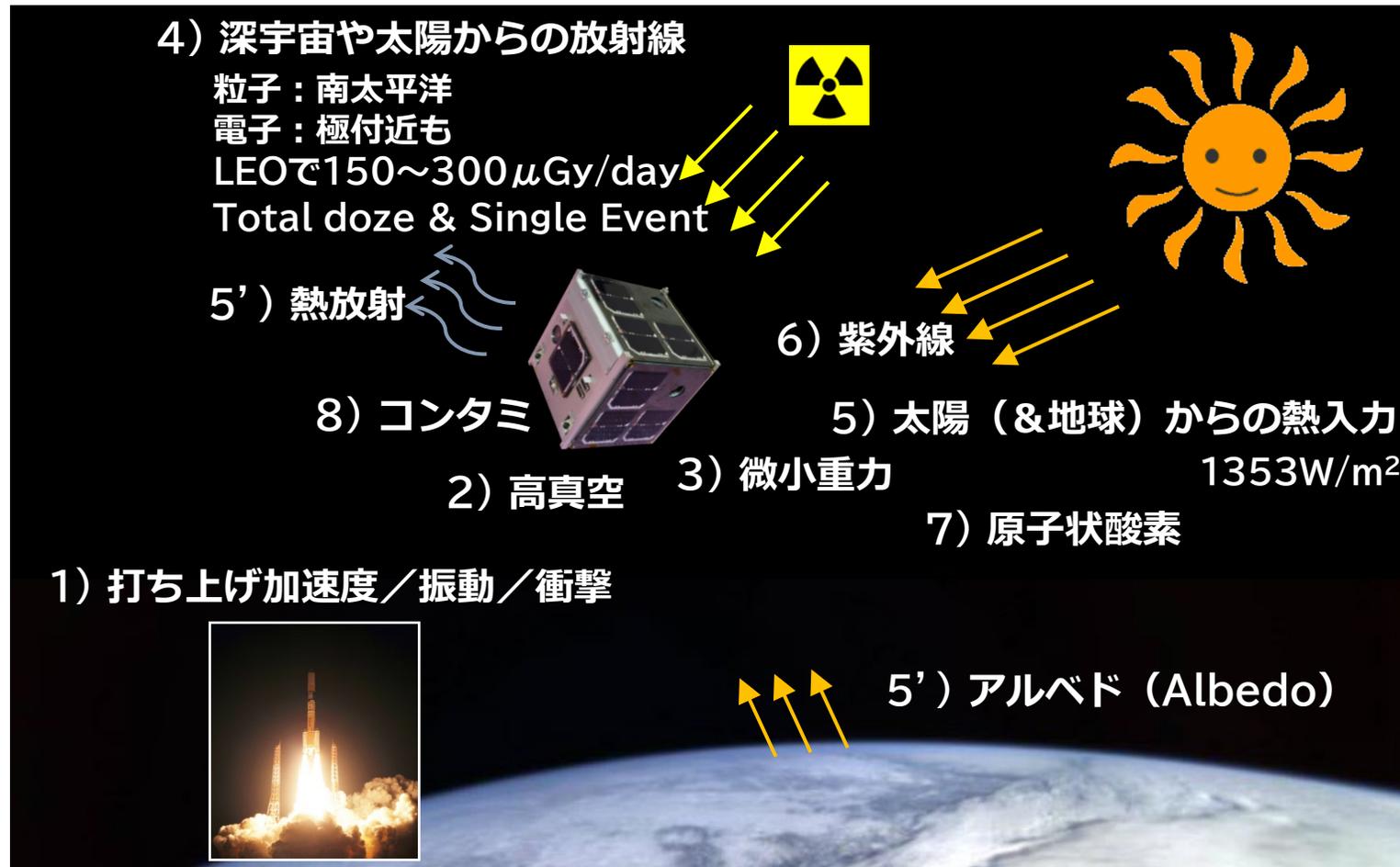
【研究・開発例】 膜面アンテナ(産学官)

- 衛星間無線電力伝送の軌道上基礎実験



1. 事前知識：宇宙モノの特徴

- ① 使用環境が地上とはかなり異なる。
- ② 自律・非修理システムである。
- ③ 新規モノが多い。

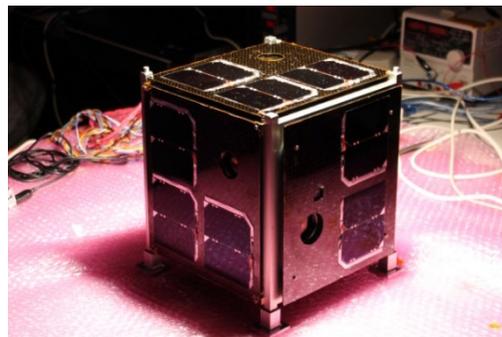
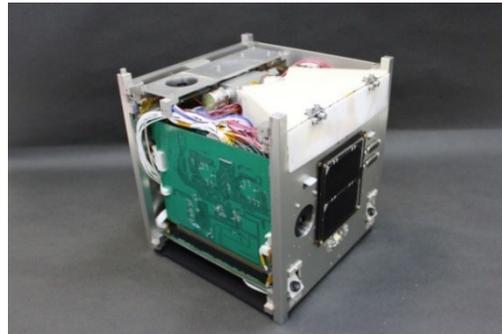
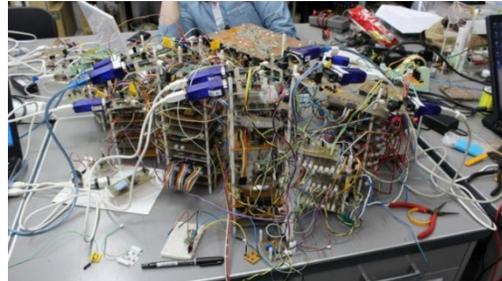
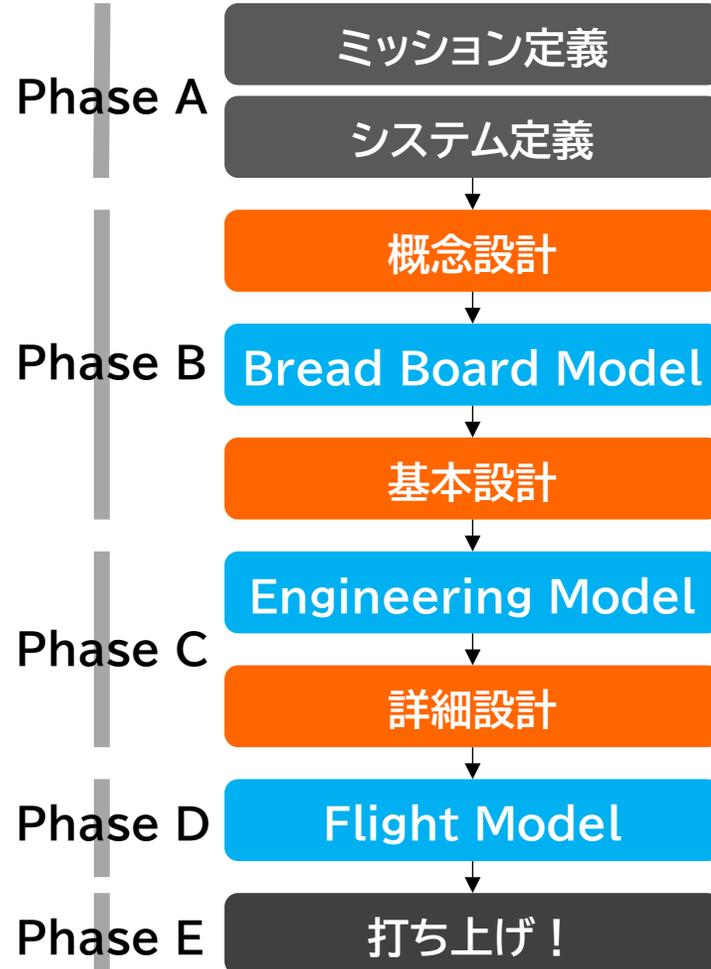


※ LEO:Low Earth Orbit(低軌道)

※ Gy : J/kg(Gyに放射線の種類による加重係数をかけたものがSv)。

1. 事前知識：人工衛星開発の基本的な流れ

打ち上げ機からの要求を満たしていないと、打ち上げてもらえない。



【BBM開発】 概念設計の妥当性の確認(システムの確認)

- 搭載予定部品・機器の単体での動作試験(温度試験, 真空試験), 個々のサブシステムの電子回路の確認
- 全体を統合しての動作試験
- 電子回路自体は実際の衛星に搭載するものとは違う場合もある(コストの問題)

【基本設計】

- BBMの試験結果に基づき, 本物の衛星の設計を行う
- 基本設計の結果について審査会(Preliminary Design Review)を行うのが通例
- PDRでOKが出たら, EMの開発を開始する

【EM開発】 基本設計の妥当性確認(部品レベルから電子基板や配線, そして, 衛星全体に至る全て)

- 機能試験, 環境試験(実際より厳しめに)
- End-to-End試験(実際の運用を模擬した試験)
- ここで徹底的にダメだしをする(ダメだしができないと, FM開発でトラブルが多発する, あるいは, 本番で失敗する可能性が高い)

【詳細設計】

- EMの試験結果に基づき, フライトモデル(FM)の設計を行う
- 詳細設計の結果について審査会(Critical Design Review)を行うのが通例
- CDRでOKが出たら, FMの開発を開始する

【FM開発】 安全かつ壊れずに宇宙に到達し, 宇宙で機能するであろうことを確認(納得)すること

- 機能試験, 環境試験
- End-to-End試験(実際の運用を模擬した試験)を徹底的に行う
- 特に, 温度の影響(電源系から電流・電圧が適切に供給されているかなど)を確認することが重要

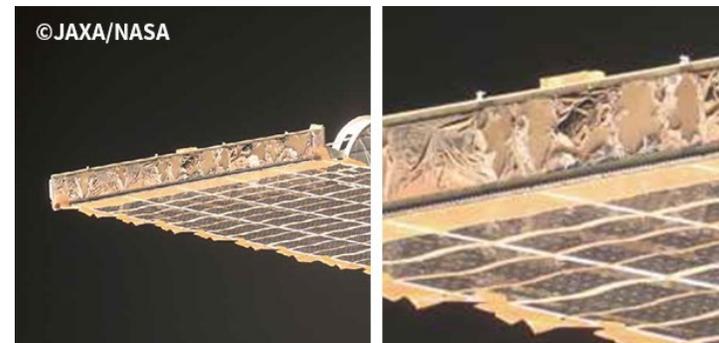
1. 事前知識： 材料・構造に対する要求

当たり前のですが、①軌道上で不具合を起こさないこと、②打ち上げ途中で不具合を起こさないこと

【宇宙環境に耐えられること(ミッション遂行に支障をきたさないこと)】

要求の例	対応方法
放射線耐性があること	TID(Total Ionization Doze)試験(コバルト60照射)
紫外線耐性があること	紫外線照射試験
(400km程度以下の軌道の場合)原子状酸素に耐性があること	原子状酸素照射試験
真空中で問題を生じないこと(脱湿も含む)	真空試験
(要求される)高温・低温で問題を生じないこと (例:低温での脆性破壊、熱膨張率の大きく異なる材料の組み合わせによる熱応力)	材料単体なら温度試験 構造なら、まずは熱解析

- ※ 金属ではなく、軽量な高分子材料を使うような場合には要注意
- ※ 例えば、材料メーカーの方や、繊維メーカーの方が、自社の材料や製品を宇宙分野でも販売したい、というような場合は、とりあえず、上記のことを確認されるとよいと思います。
- ※ 放射線試験であれば東工大や若狭湾エネルギー研究センター
- ※ 紫外線照射試験や原子状酸素照射試験であれば九工大やJAXA



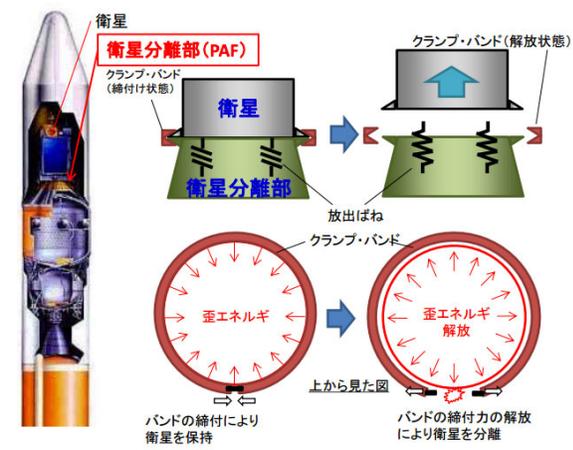
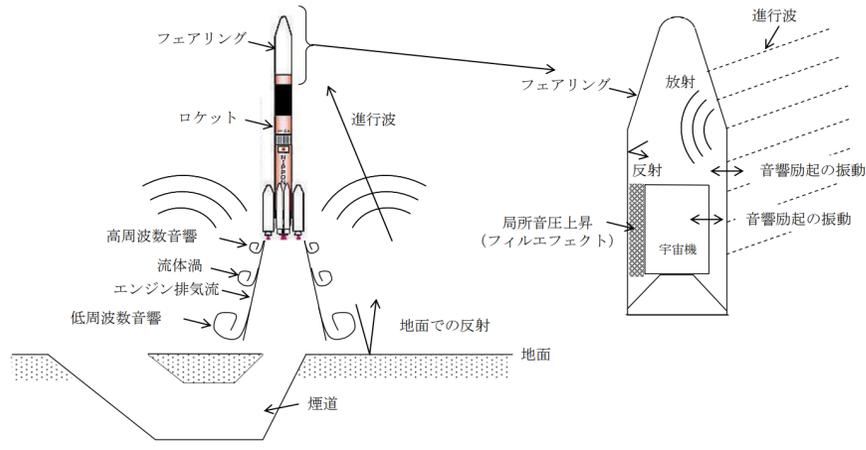
1. 事前知識： 材料・構造に対する要求

当たり前のですが、①軌道上で不具合を起こさないこと、②打ち上げ途中に不具合を起こさないこと

【打ち上げ環境に耐えられること(ロケット関係者から提示される条件を満たすこと)】



周波数	振動源
0~5Hz程度	上昇時の軸方向準静的加速度、その他、低振動数成分
低周波振動 5~100Hz程度	ロケットの振動 1. Lift off時 2. 空気力の変動 3. 2段分離時 4. POGO(正弦波振動) 5. エンジンの燃焼振動
音響・ランダム振動 数十Hz以上	Lift off時のエンジン燃焼の振動音響(ロケットから直接、あるいは、外からフェアリングを通して)
衝撃 100~10,000Hz	フェアリング開頭、衛星分離



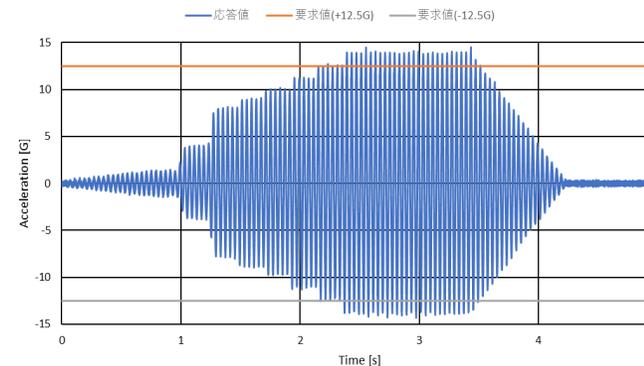
1. 事前知識： 材料・構造に対する要求

当たり前ですが、①軌道上で不具合を起こさないこと、②打ち上げ途中で不具合を起こさないこと

【打ち上げ環境に耐えられること(ロケット関係者から提示される条件を満たすこと)】

要求の例	対応方法
必要な剛性を有すること(固有振動数が要求値以上であること)	解析および試験
加速度荷重に耐えられること	解析および試験(サインバースト試験)
音響振動に耐えられること	解析および試験(ランダム振動試験 or 音響試験)
エンジンの燃焼振動等に耐えられること	解析および試験(正弦波振動試験)
フェアリング開頭時、衛星分離時の衝撃に耐えられること	衝撃試験
急速な低真空化に耐えられること	急減圧試験
真空凝着を起こさないこと	同じ材料(特に金属材料)が接しないようにする。接触面をコーティングする。

固有振動数※	3軸とも113Hz以上
準静的加速度	機軸方向10G, 直交方向1G
正弦波振動	22-36Hz : 1.0G _{0-p} 4oct/min 43-57Hz : 0.5G _{0-p} 0.2oct/min
ランダム振動	20 - 100 Hz : 0.000944 G ² /Hz 100 - 300 Hz : 11.1 dB/oct 300 - 500 Hz : 0.0542 G ² /Hz 500 - 2000 Hz : -9.5 dB/oct (30秒間)



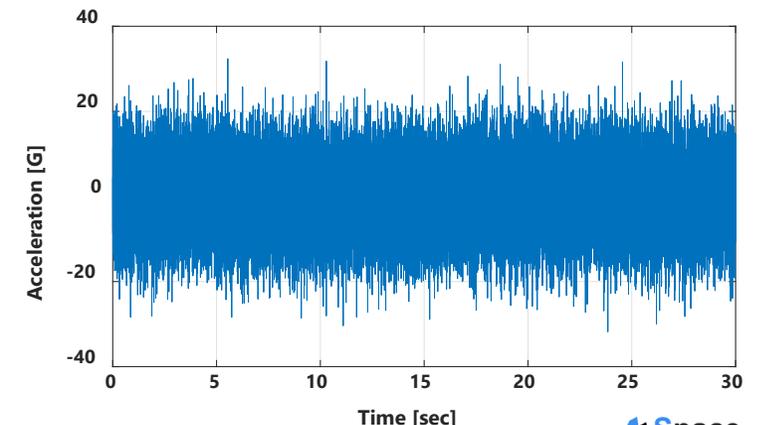
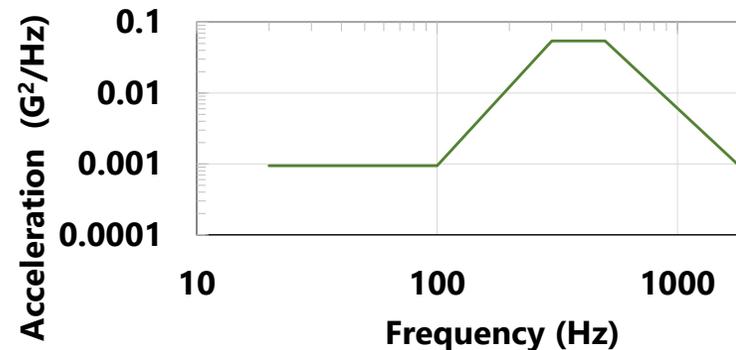
1. 事前知識： 材料・構造に対する要求

当たり前ですが、①軌道上で不具合を起こさないこと、②打ち上げ途中で不具合を起こさないこと

【打ち上げ環境に耐えられること(ロケット関係者から提示される条件を満たすこと)】

要求の例	対応方法
必要な剛性を有すること(固有振動数が要求値以上であること)	解析および試験
加速度荷重に耐えられること	解析および試験(サインバースト試験)
音響振動に耐えられること	解析および試験(ランダム振動試験 or 音響試験)
エンジンの燃焼振動等に耐えられること	解析および試験(正弦波振動試験)
フェアリング開頭時、衛星分離時の衝撃に耐えられること	衝撃試験
急速な低真空化に耐えられること	急減圧試験
真空凝着を起こさないこと	同じ材料(特に金属材料)が接しないようにする。接触面をコーティングする。

固有振動数※	3軸とも113Hz以上
準静的加速度	機軸方向10G, 直交方向1G
正弦波振動	22-36Hz : 1.0G _{0-p} 4oct/min 43-57Hz : 0.5G _{0-p} 0.2oct/min
ランダム振動	20 - 100 Hz : 0.000944 G ² /Hz 100 - 300 Hz : 11.1 dB/oct 300 - 500 Hz : 0.0542 G ² /Hz 500 - 2000 Hz : -9.5 dB/oct (30秒間)



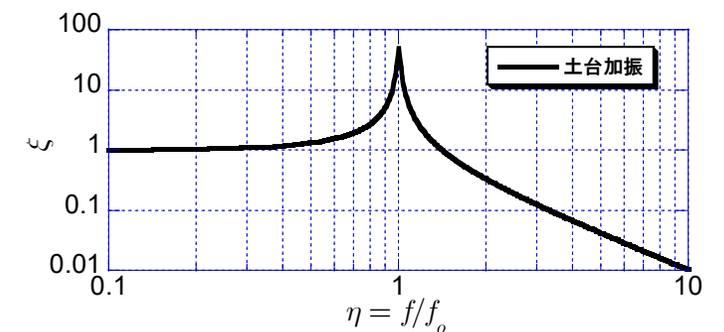
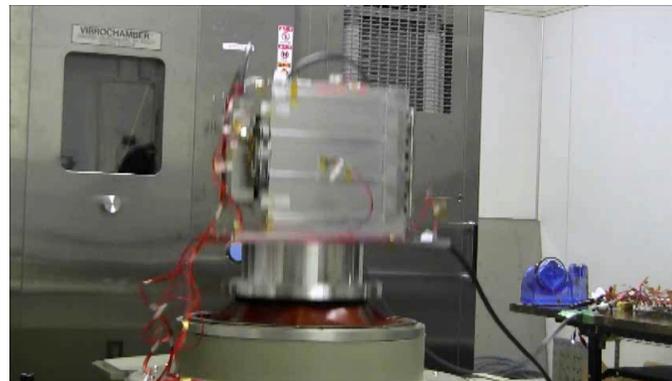
1. 事前知識： 材料・構造に対する要求

当たり前ですが、①軌道上で不具合を起こさないこと、②打ち上げ途中で不具合を起こさないこと

【打ち上げ環境に耐えられること(ロケット関係者から提示される条件を満たすこと)】

要求の例	対応方法
必要な剛性を有すること(固有振動数が要求値以上であること)	解析および試験
加速度荷重に耐えられること	解析および試験(サインバースト試験)
音響振動に耐えられること	解析および試験(ランダム振動試験 or 音響試験)
エンジンの燃焼振動等に耐えられること	解析および試験(正弦波振動試験)
フェアリング開頭時、衛星分離時の衝撃に耐えられること	衝撃試験
急速な低真空化に耐えられること	急減圧試験
真空凝着を起こさないこと	同じ材料(特に金属材料)が接しないようにする。接触面をコーティングする。

固有振動数※	3軸とも113Hz以上
準静的加速度	機軸方向10G, 直交方向1G
正弦波振動	22-36Hz : 1.0G _{0-p} 4oct/min 43-57Hz : 0.5G _{0-p} 0.2oct/min
ランダム振動	20 - 100 Hz : 0.000944 G ² /Hz 100 - 300 Hz : 11.1 dB/oct 300 - 500 Hz : 0.0542 G ² /Hz 500 - 2000 Hz : -9.5 dB/oct (30秒間)

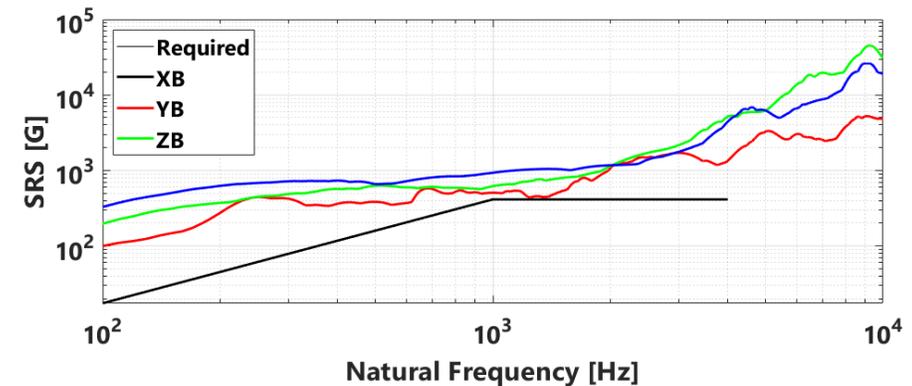


1. 事前知識： 材料・構造に対する要求

当たり前のですが、①軌道上で不具合を起こさないこと、②打ち上げ途中で不具合を起こさないこと

【打ち上げ環境に耐えられること(ロケット関係者から提示される条件を満たすこと)】

要求の例	対応方法
必要な剛性を有すること(固有振動数が要求値以上であること)	解析および試験
加速度荷重に耐えられること	解析および試験(サインバースト試験)
音響振動に耐えられること	解析および試験(ランダム振動試験 or 音響試験)
エンジンの燃焼振動等に耐えられること	解析および試験(正弦波振動試験)
フェアリング開頭時、衛星分離時の衝撃に耐えられること	衝撃試験
急速な低真空化に耐えられること	急減圧試験
真空凝着を起こさないこと	同じ材料(特に金属材料)が接しないようにする。接触面をコーティングする。



1. 事前知識： 材料・構造に対する要求

当たり前のですが、①軌道上で不具合を起こさないこと、②打ち上げ途中で不具合を起こさないこと

【その他】

要求の例	対応方法
地上保管時に腐食しないこと	保管時の湿度管理。そもそも腐食性の低い材料を使う。
真空中のアウトガスが少ないこと	アウトガス試験で確認(TML(質量損失比)、CVCM(再凝縮物質量比)、WVR(再吸水量比)を測定)
ねじ締結部等、常時荷重が作用している箇所 でクリープによる問題が生じないこと	解析。そもそもクリープをあまり起こさない材料を使う。
導電性が確保されていること	導電性の高い材料を用いる(表面抵抗を測定する)
電氣的に絶縁されていること	絶縁体を用いる
熱的に結合されていること	熱伝導率の高い材料を用いる
熱的に絶縁されていること	熱伝導率の低い材料を用いる

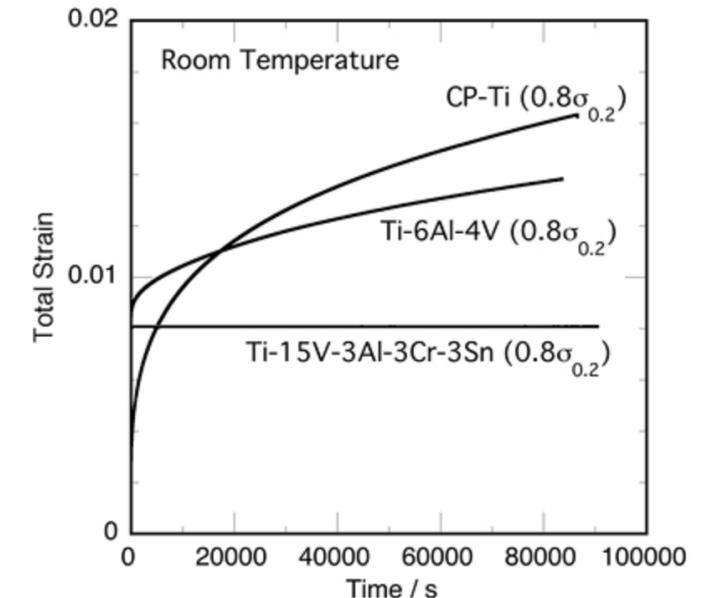


図1 3種のチタン/チタン合金の室温クリープ曲線
それぞれ0.2%耐力の80%の荷重が負荷されており、負荷からほぼ1日後にCP-TiおよびTi-6Al-4Vでは 5×10^{-8} s $^{-1}$ 、 3×10^{-8} s $^{-1}$ というひずみ速度を示すのに対し、Ti-15V-3Al-3Cr-3Snはまったくひずみ速度を示さない。

1. 事前知識： わからないことがある場合には？

参考になる資料を読む？

JAXAの技術標準・設計標準 (<https://sma.jaxa.jp/techdoc.html>)



HOME > JAXA共通技術文書

JAXAの開発経験を役立ててください

安全・信頼性推進部では衛星・ロケット・探査機等、様々な宇宙機を開発する際の道しるべとなるよう多くの共通文書を整備しています。これらは、より効率的な開発を進めるため、より成功率を高めるため、長い年月をかけて追加や見直しされながら出来上がった、所謂「虎の巻」です。成り立ちとしてJAXA内部利用が主であったことから、体裁として「～すること」「～しなければならない」といった表現になっていますが、この中にはベンチャー企業にとっても役立つ情報が必ずあります。

- [JERG-2-000 宇宙機（人工衛星・探査機）設計標準](#) English
- [JERG-2-023 宇宙転用可能部品の宇宙適用ハンドブック（長寿命衛星編）](#)
- [JERG-2-024 宇宙転用可能部品の宇宙適用ハンドブック（科学衛星編）](#)
- [JERG-2-025 公募小型副衛星 ハザード解析ハンドブック](#)
- [JERG-2-026 軌道上サービスミッションに係る安全基準](#) English
- [JERG-2-100 システム設計標準](#)
- [JERG-2-120 単一故障・波及故障防止標準](#)
- [JERG-2-130 宇宙機一般試験標準](#)
- [JERG-2-130-HB001 衝撃試験ハンドブック](#)
- [JERG-2-130-HB002 音響試験ハンドブック](#)
- [JERG-2-130-HB003 振動試験ハンドブック](#)
- [JERG-2-130-HB004 フォースリミット振動試験ハンドブック](#)
- [JERG-2-130-HB005 熱真空試験ハンドブック](#)
- [JERG-2-130-HB006 環境試験信頼性要求ハンドブック](#)
- [JERG-2-130-HB007 宇宙機一般試験標準ハンドブック](#)
- [JERG-2-141 宇宙環境標準](#)
- [JERG-2-142 一般環境標準（宇宙機）](#)
- [JERG-2-143 耐宇宙環境設計標準（耐放射線設計標準）](#) English
- [JERG-2-144 微小デブリ衝突耐性評価標準](#) English
- [JERG-2-151 ミッション・軌道設計標準](#)
- [JERG-2-152 擾乱管理標準](#) English
- [JERG-2-153 指向管理標準](#)
- [JERG-2-200 電気設計標準](#)
- [JERG-2-200-TP001 科学衛星等電気設計基準テンプレート](#) English

1. 事前知識： わからないことがある場合には？

人に聞いてみるのが早い？

CubeSatサロン

- CubeSatサロンは、超小型衛星を使ったミッションを考えているけれども、どうやってプロジェクトを進めたらいいかわからない
- ミッションが実現可能かどうかわからない
- 経営層どうやって納得させたらいいかわからない

等々の様々な相談事について、「ふらっと」立ち寄って、ゆっくりとお茶でも飲みながら話ができるような「緩い」相談場所を目指しています。衛星開発・運用の経験が少ない大学・高専や企業その他の方々を主な対象としていますが、超小型衛星の開発や利用に興味のある方は基本的にどなたでも歓迎です。大学やJAXA関係者をご相談に乗ります。

場所 : 東京都中央区日本橋本町 2-3-11 日本橋ライフサイエンスビル 10 階

相談日 : 毎週火曜日または水曜日(対面またはオンライン)

初回相談日 : 2024 年 7 月 9 日(火)

当面の相談日 : 2024 年 7 月 17 日(水)、7 月 23 日(火)、7 月 30 日(火)

相談時間 : 9:30-10:30, 11:00-12:00, 13:30-14:30, 15:00-16:00, 16:30-17:30

案内・予約等 : <https://unisec.jp/cubesatsalon>

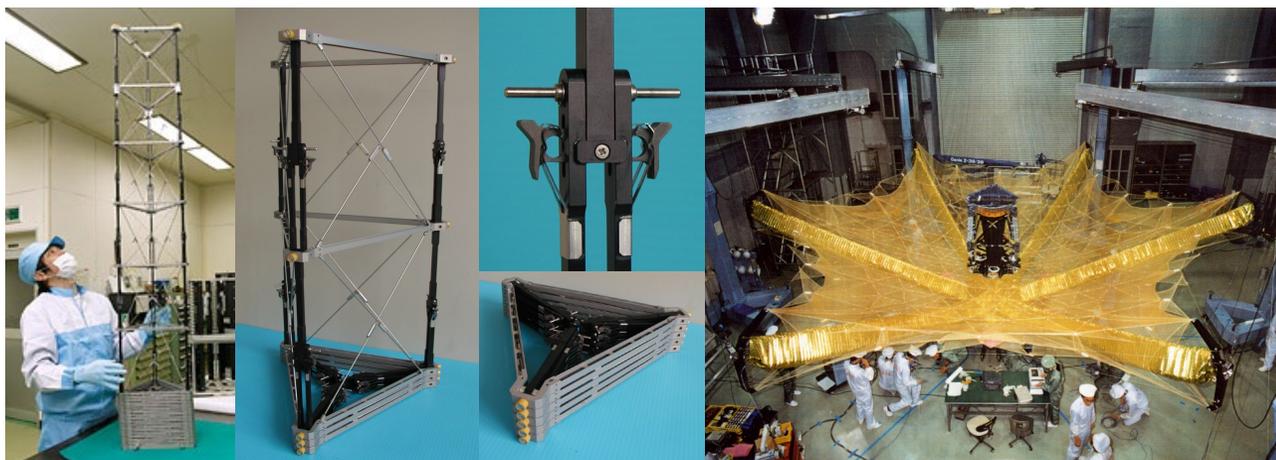
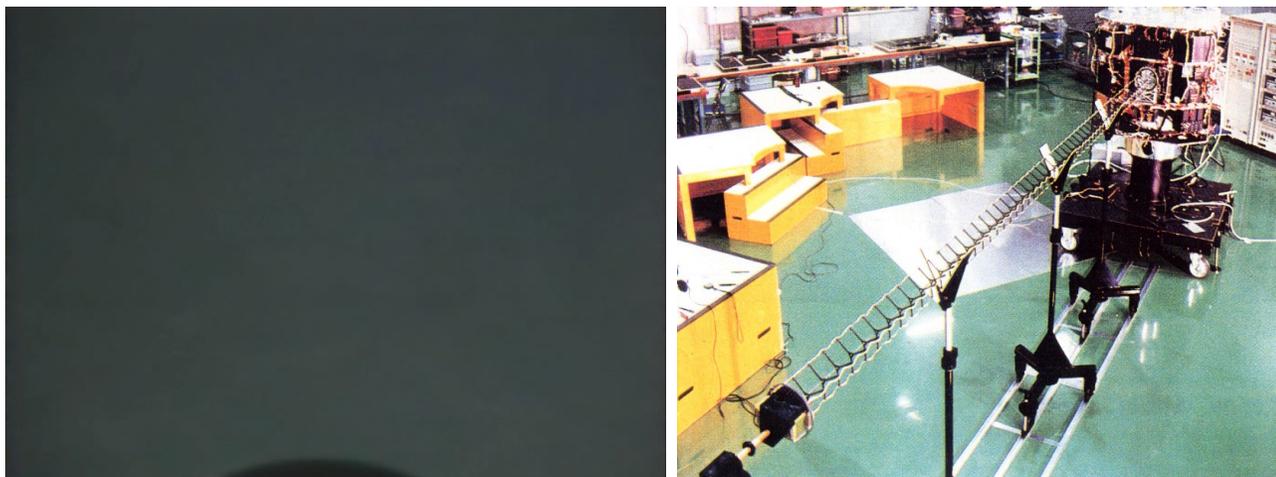
宇宙スキル標準？

- これからつくるかもしれません(既に技術を有している企業の方々に必要なプラスアルファが何であるかわかるかも?)

2. 人工衛星用展開構造物 (宇宙ビジネスに新規参入する例として)

現状を知る: 昨今は、軽量かつ収納効率の高いものが求められている(アイデア勝負だが・・・)。

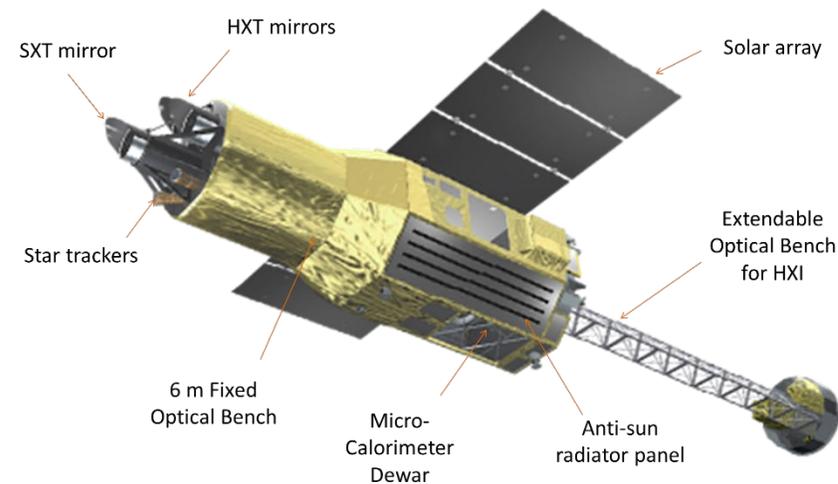
【従来の科学衛星用伸展構造】



- 軽量で柔軟なマスト
- 高剛性伸展トラス



最近では、さらに軽量で高収納効率のものが求められている



2. 人工衛星用展開構造物 (宇宙ビジネスに新規参入する例として)

現状を知る: 昨今は、軽量かつ収納効率の高いものが求められている(アイデア勝負だが...)

【最近の科学衛星・探査機用伸展構造】

- 軽量で柔軟なマスト
- 高剛性伸展トラス

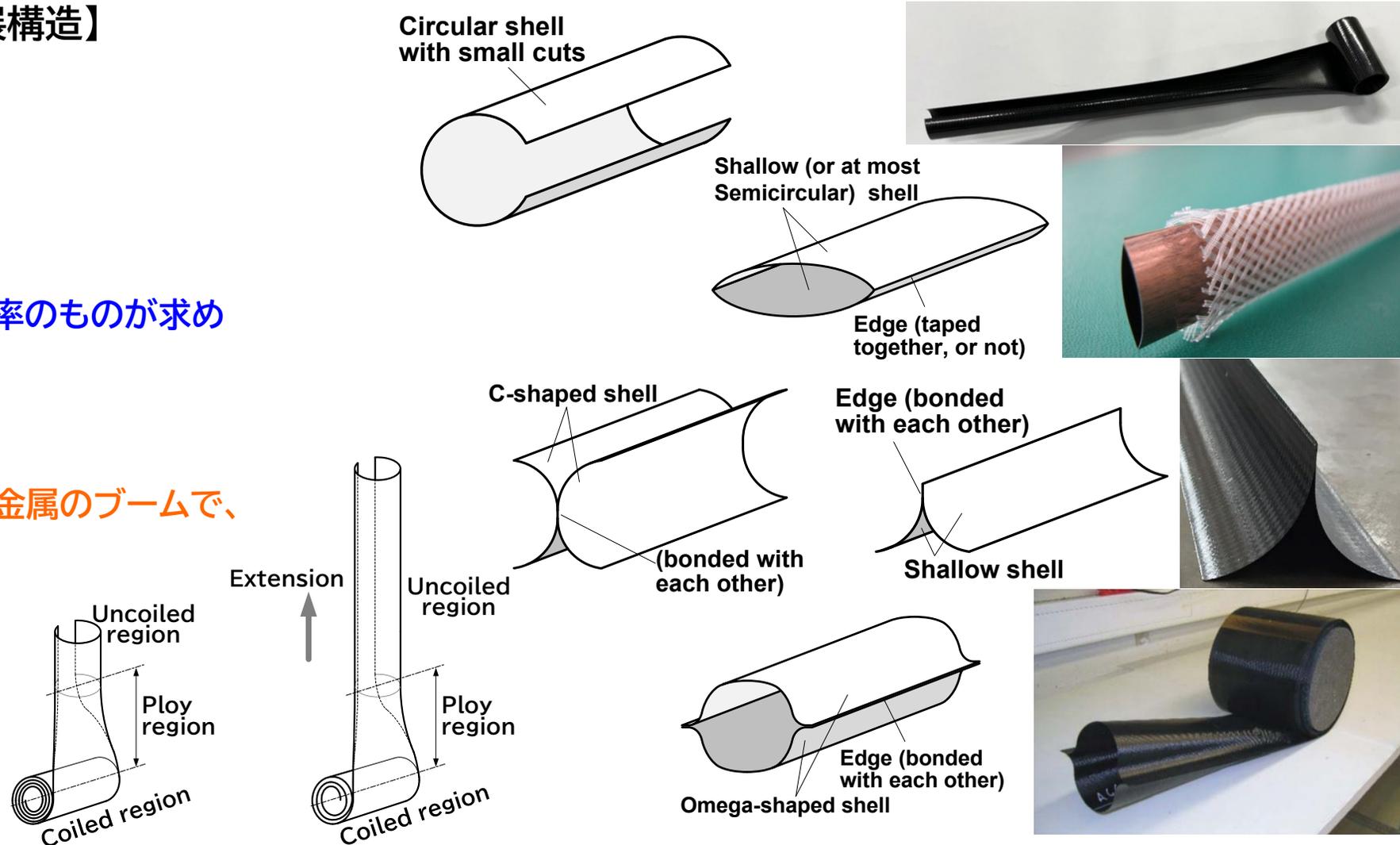


最近は、さらに軽量で高収納効率のものが求められている



薄肉開断面のCFRP、あるいは金属のブームで、巻き付け収納可能なもの

- ブームはモーター伸展、または、自己伸展



2. 人工衛星用展開構造物 (宇宙ビジネスに新規参入する例として)

現状を知る: 昨今は、軽量かつ収納効率の高いものが求められている(アイデア勝負だが...)。

【最近の科学衛星・探査機用伸展構造】

ROSA (2017)

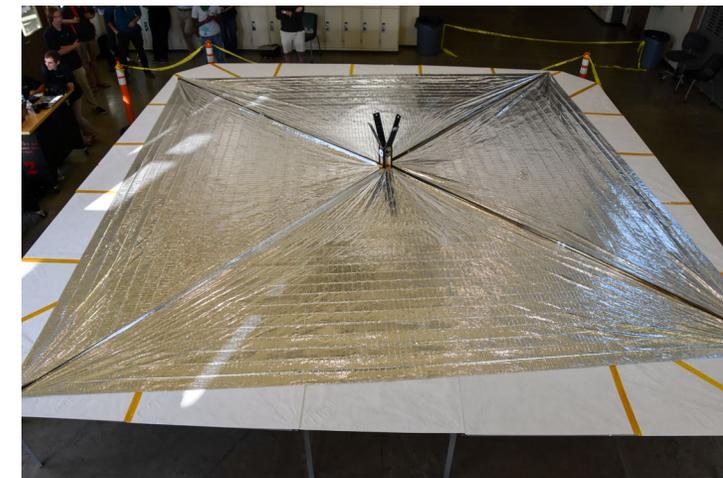
Roll Out Solar Array (5.4m x 1.67m, 325kg, 61W/kg)



DART (2021)



LightSail 2 (2019)



- 米国(NASA)は“高歪複合材”の研究を進めてきており、自己伸展開断面ブームやTRACブームを既に宇宙で利用している。



2. 人工衛星用展開構造物 (宇宙ビジネスに新規参入する例として)

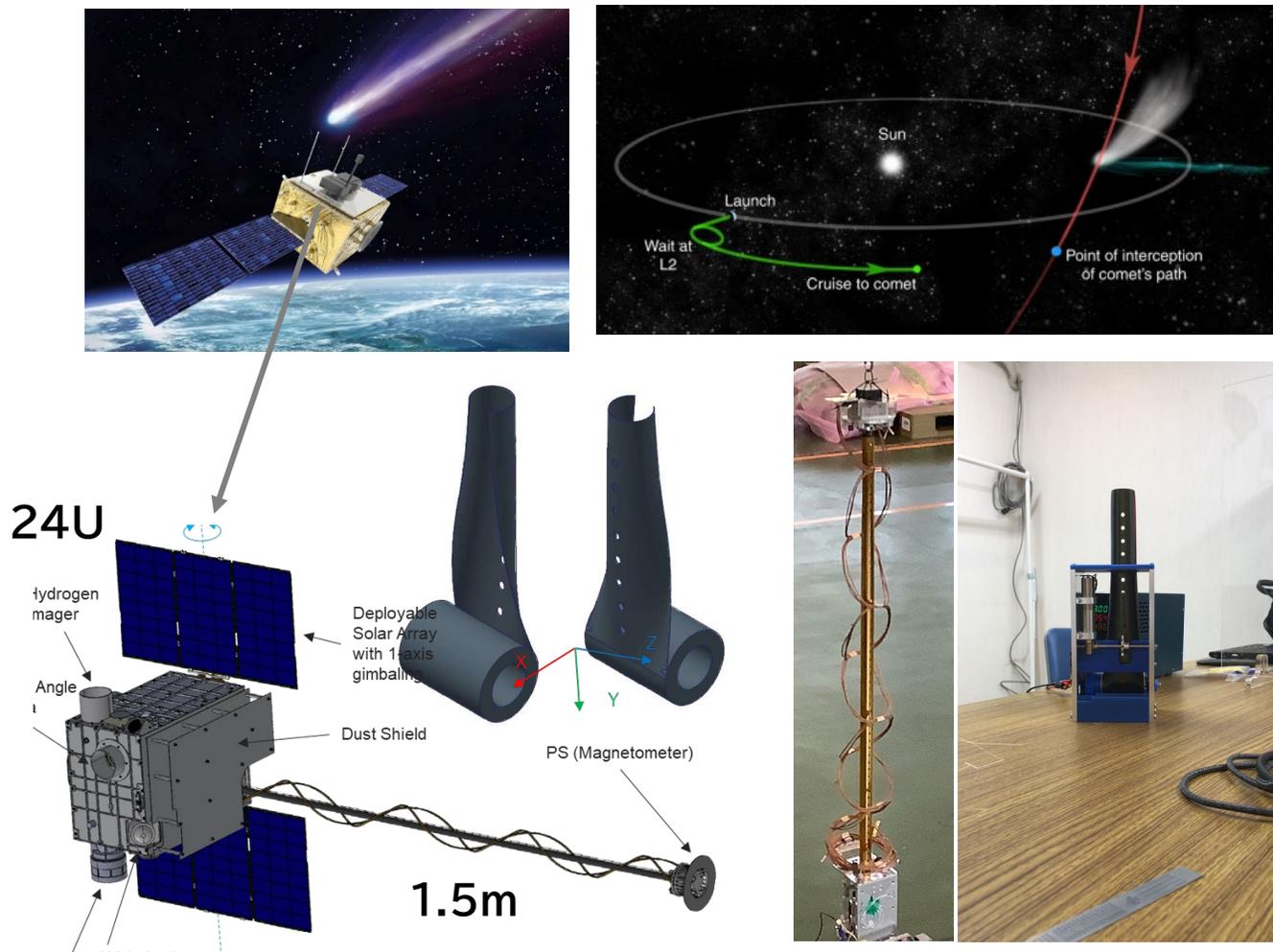
現状を知る: 昨今は、軽量かつ収納効率の高いものが求められている(アイデア勝負だが...)。

【最近の科学衛星・探査機用伸展構造】

- 米国(NASA)は“高歪複合材”の研究を進めてきており、自己伸展開断面ブームやTRACブームを既に宇宙で利用している。



- 欧州と日本のジョイントミッション“Comet Interceptor”の子衛星“B1”は探査機本体から磁力計を離すための伸展ブームを搭載
- **伸展ブームには、CFRP製双安定ブームを採用。**このような柔軟ブームを使うのは、JAXAにとって初めて。

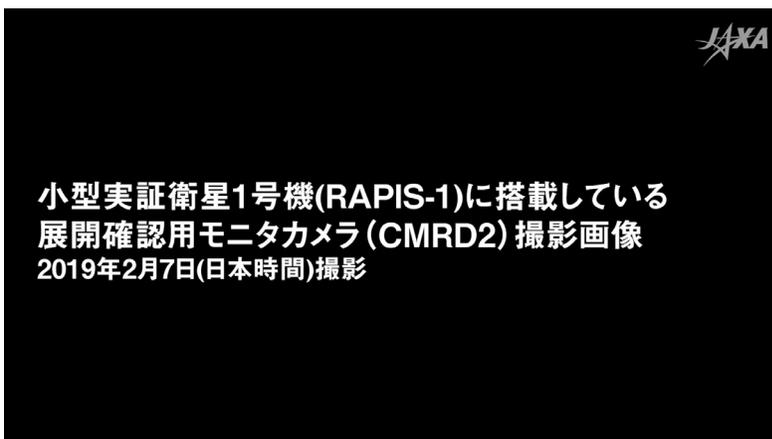
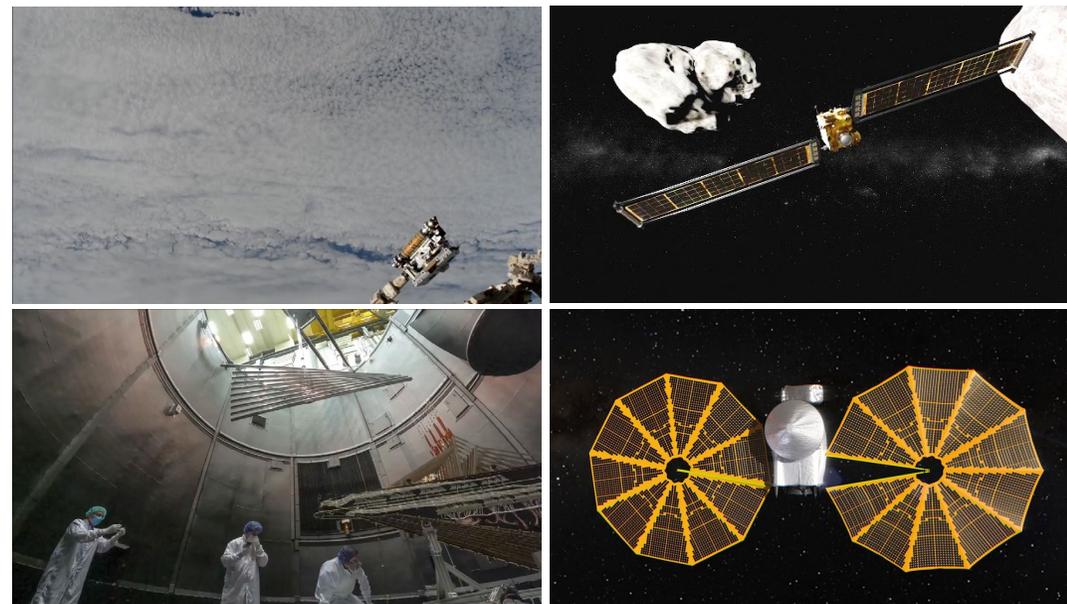


2. 人工衛星用展開構造物 (宇宙ビジネスに新規参入する例として)

現状を知る: 昨今は、軽量かつ収納効率の高いものが求められている(アイデア勝負だが...)

【太陽電池パネル】

- 軽量の太陽電池パネル (SAP) が深宇宙探査ミッションで求められている
- 現在、最も効率のいいSAPは約150W/kg(地球周辺)
- 最近の研究目標は、展開機構部込みで200W/kg(できれば300kg/W)



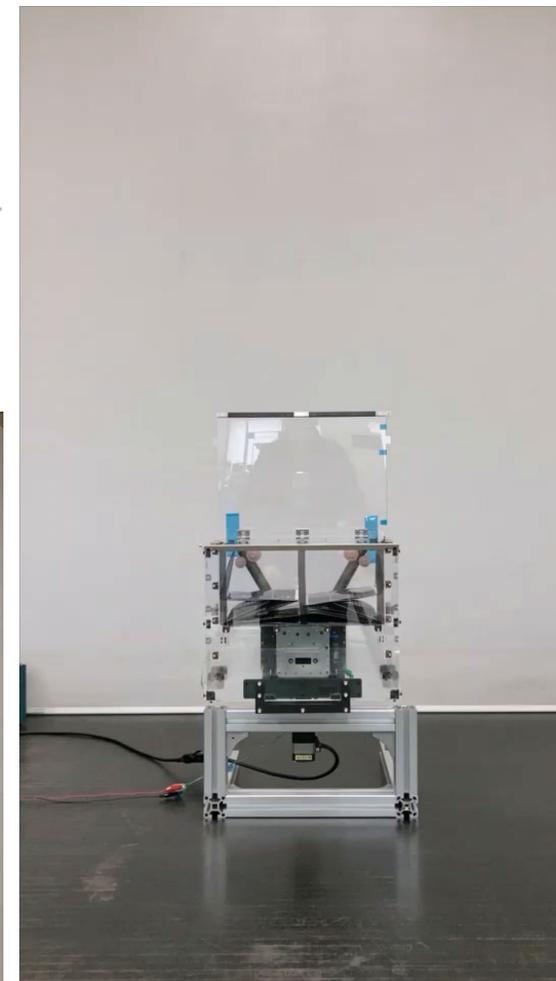
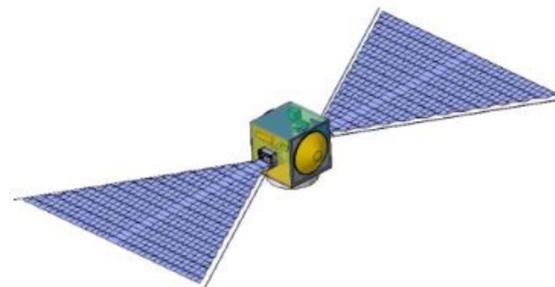
2. 人工衛星用展開構造物 (宇宙ビジネスに新規参入する例として)

現状を知る: 昨今は、軽量かつ収納効率の高いものが求められている(アイデア勝負だが...)。

【太陽電池パネル】

- 軽量の太陽電池パネル (SAP) が深宇宙探査ミッションで求められている
- 現在、最も効率のいいSAPは約150W/kg(地球周辺)
- 最近の研究目標は、展開機構部込みで200W/kg(できれば300kg/W)

超小型外惑星探査機

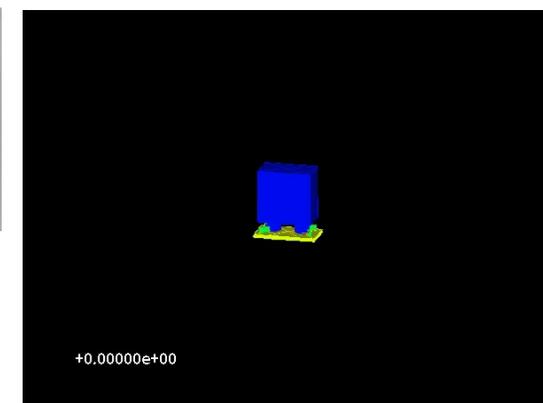
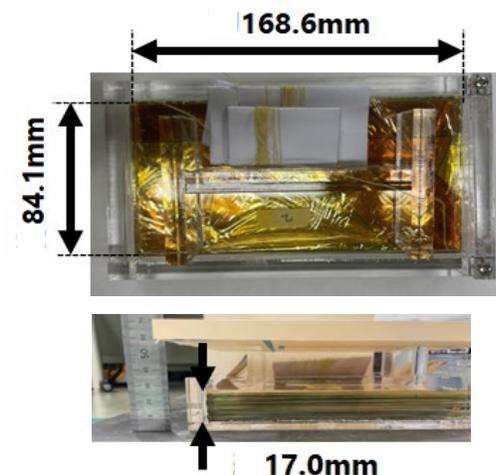
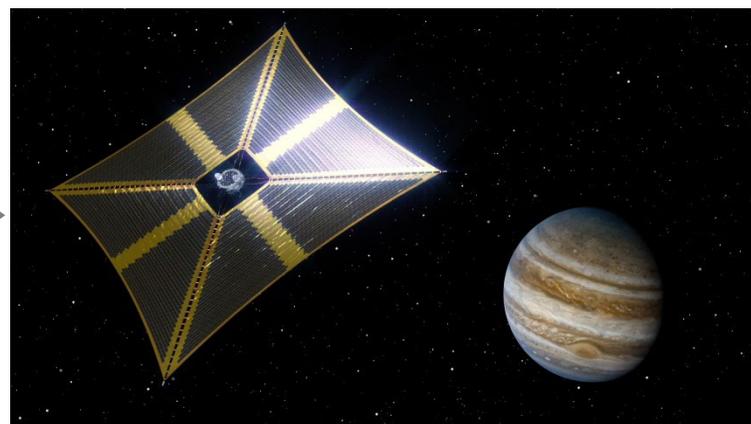
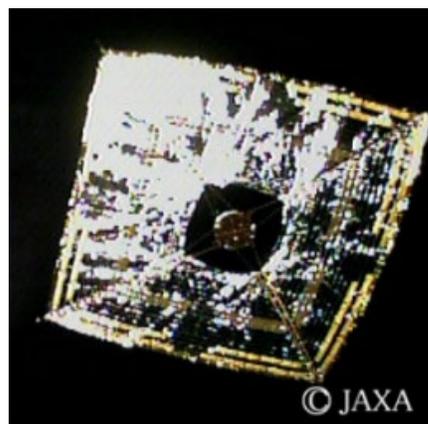
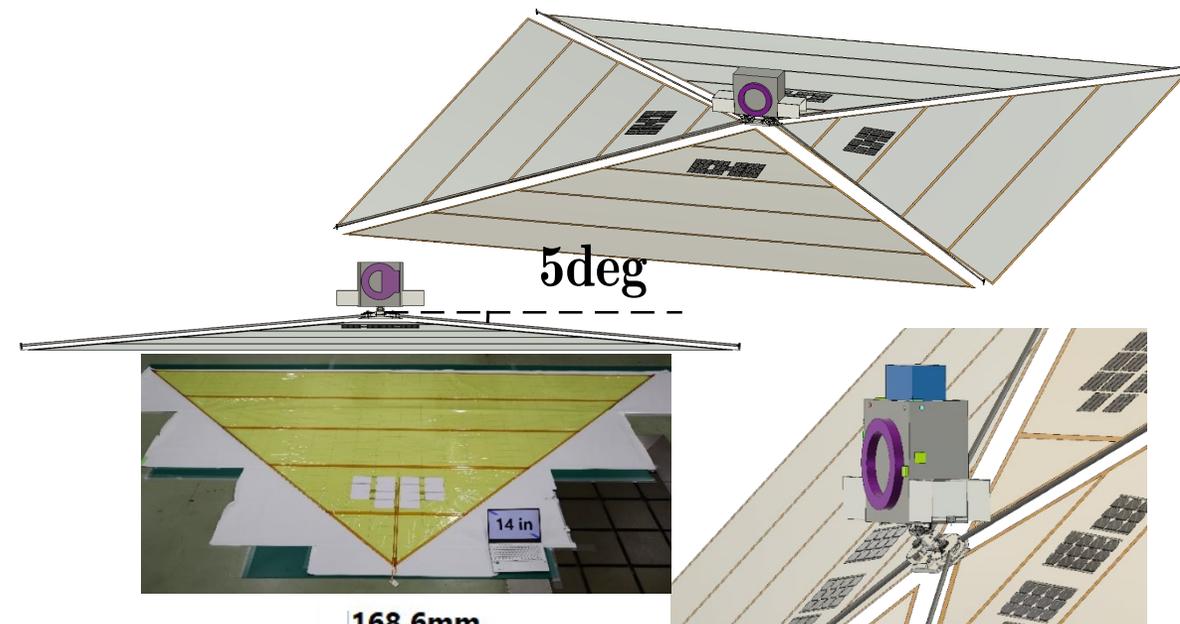


2. 人工衛星用展開構造物 (宇宙ビジネスに新規参入する例として)

現状を知る:昨今は、軽量かつ収納効率の高いものが求められている(アイデア勝負だが...)。

【ソーラー電力セイル】

- ソーラー電力セイル:太陽光の圧力による推進と、イオンエンジンによる電気推進を組み合わせたハイブリッド推進で航行する探査機
- JAXAは14m級のソーラー電力セイルIKAROSを2010年に成功させ、40m級のOKEANOSを開発していた(中止)。
- 現在、東工大と宇宙研とで5m級の超小型ソーラー電力セイルを検討中



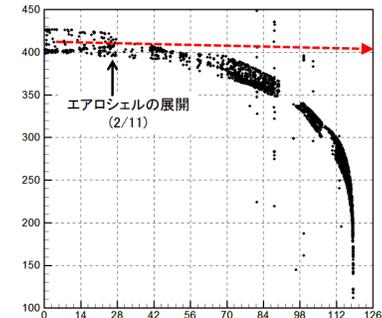
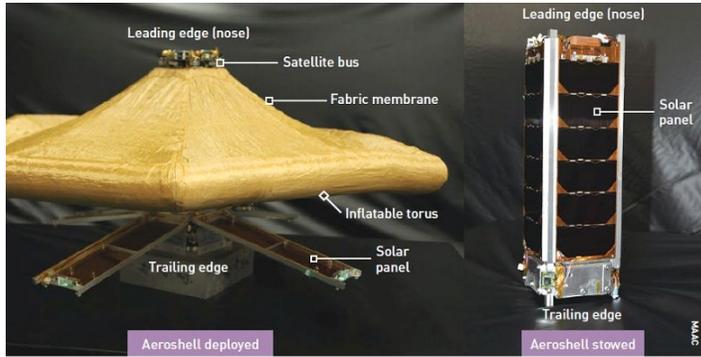
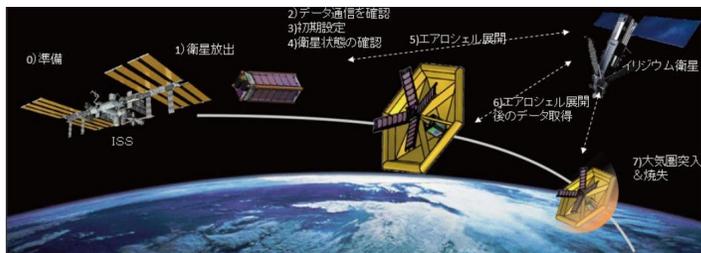
2. 人工衛星用展開構造物 (宇宙ビジネスに新規参入する例として)

現状を知る: 昨今は、軽量かつ収納効率の高いものが求められている(アイデア勝負だが...)。

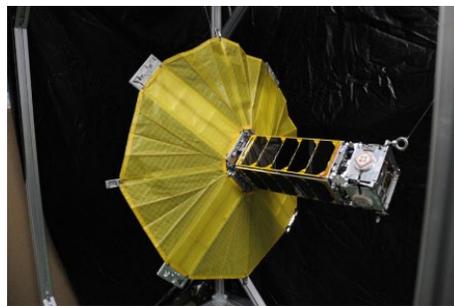
【エアロシェル】

- 東大と宇宙研とで、火星に突入するエアロシェルの研究・開発を実施中

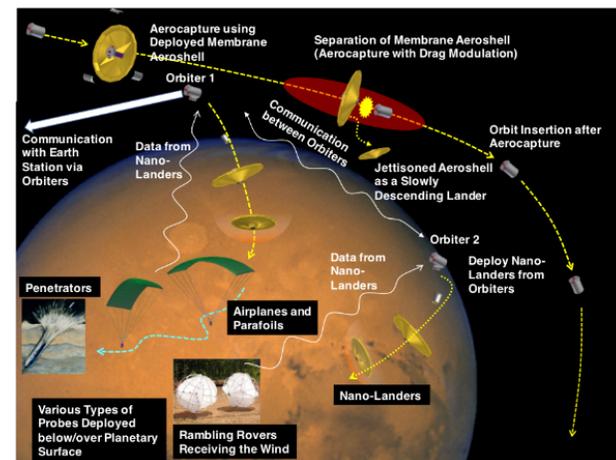
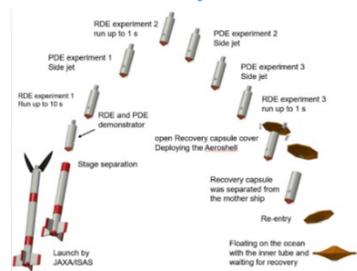
EGG (2017, 0.8m aeroshell)



BEAK (2023?)



RATS (2021, 1.2m)



Mars landing mission (3.5m aeroshell?)

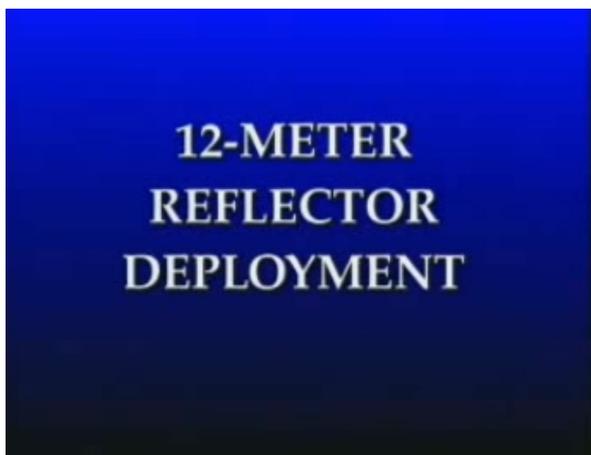
NASA LOFTID (2022, 6m)



2. 人工衛星用展開構造物 (宇宙ビジネスに新規参入する例として)

課題は？ 課題への対応策は？(ねらい目？)

a. 打ち上げ前の検証(展開構造物が適切に動作するかを地上で確認する作業)

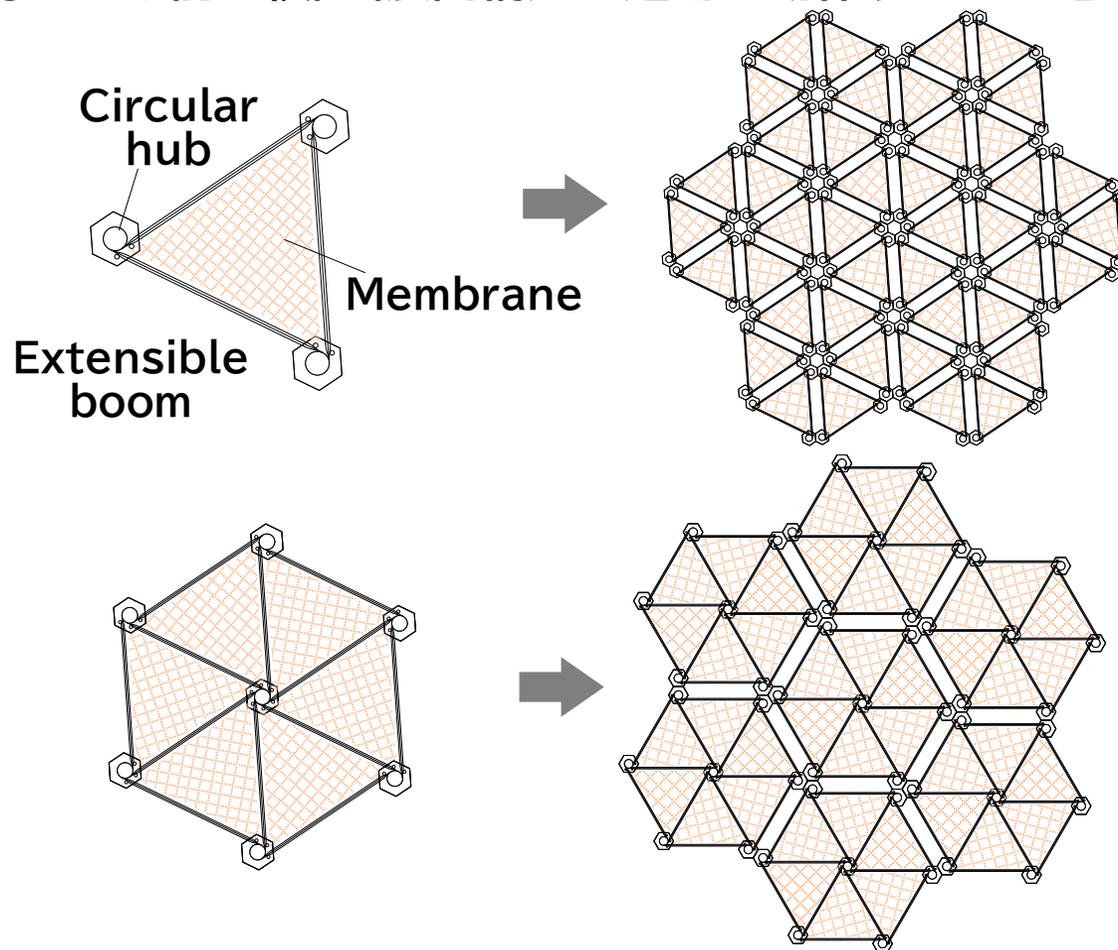


- 柔軟構造、特に、ゴッサマー構造と呼ばれる、膜やケーブル等からなる構造の運動は重力や空気抵抗に敏感
- したがって、大気中で重力下での運動は、宇宙での運動とは異なる。
- 10m以上くらいの大型構造になると、航空機を使った微小重力実験や真空チャンバでの実験は実施困難
- 小型であっても、真空環境と微小重力環境を同時に満たす実験を実施するのは難しい。
- 宇宙での技術実証か、高精度な数値シミュレーションが必要？

2. 人工衛星用展開構造物 (宇宙ビジネスに新規参入する例として)

課題は？ 課題への対応策は？(ねらい目？)

a. 打ち上げ前の検証(展開構造物が適切に動作するかを地上で確認する作業)



- 柔軟構造、特に、ゴッサマー構造と呼ばれる、膜やケーブル等からなる構造の運動は重力や空気抵抗に敏感
- したがって、大気中で重力下での運動は、宇宙での運動とは異なる。
- 10m以上くらいの大型構造になると、航空機を使った微小重力実験や真空チャンバでの実験は実施困難
- 小型であっても、真空環境と微小重力環境を同時に満たす実験を実施するのは難しい。
- 宇宙での技術実証か、高精度な数値シミュレーションが必要？

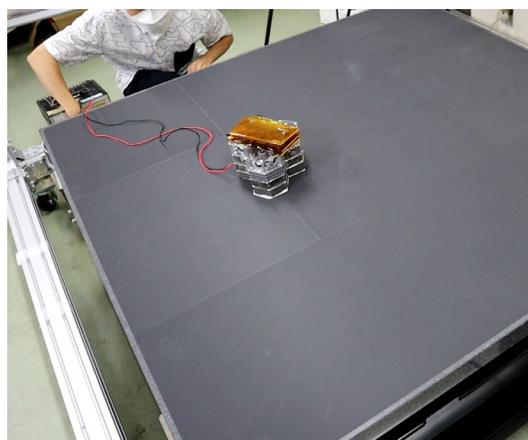
• 1モジュールの試験と、結合部の試験を実施して、全体の挙動を予測？

モジュール構造であれば、検証がしやすい？

2. 人工衛星用展開構造物 (宇宙ビジネスに新規参入する例として)

課題は？ 課題への対応策は？(ねらい目？)

a. 打ち上げ前の検証(展開構造物が適切に動作するかを地上で確認する作業)



- 柔軟構造、特に、ゴッサマー構造と呼ばれる、膜やケーブル等からなる構造の運動は重力や空気抵抗に敏感
- したがって、大気中で重力下での運動は、宇宙での運動とは異なる。
- 10m以上くらいの大型構造になると、航空機を使った微小重力実験や真空チャンバでの実験は実施困難
- 小型であっても、真空環境と微小重力環境を同時に満たす実験を実施するのは難しい。
- 宇宙での技術実証か、高精度な数値シミュレーションが必要？

自己展開構造物が一つの答え？

- 確実に展開する(ように思える)
- 収納性は比較的高い
- モーター等の駆動系を必要としない

2. 人工衛星用展開構造物 (宇宙ビジネスに新規参入する例として)

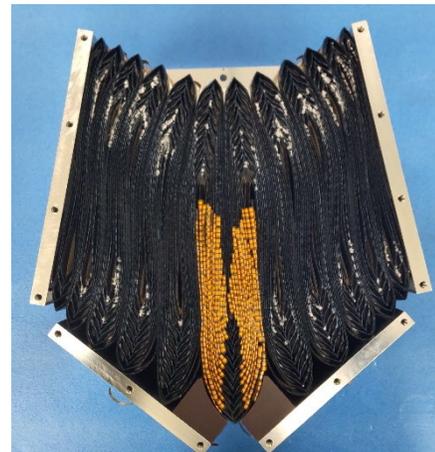
課題は？ 課題への対応策は？(ねらい目？)

b. 打ち上げ環境に対する耐性(特に、振動環境)

- 例えば、薄いに何かフィルムデバイスが貼付されていて、フィルムを小さく折りたたむと、折り目部分の剛性・強度が小さいので、振動により折り目が傷つくことがある(擦れて削られる等)。
- 膜構造など柔軟構造の保持・解放機構はクリティカルな技術の一つになる。
- 保持が強すぎると膜が傷つき、弱すぎると筐体内で暴れだす。



フィルムが他のフィルムと擦れた？



収納時



振動試験後

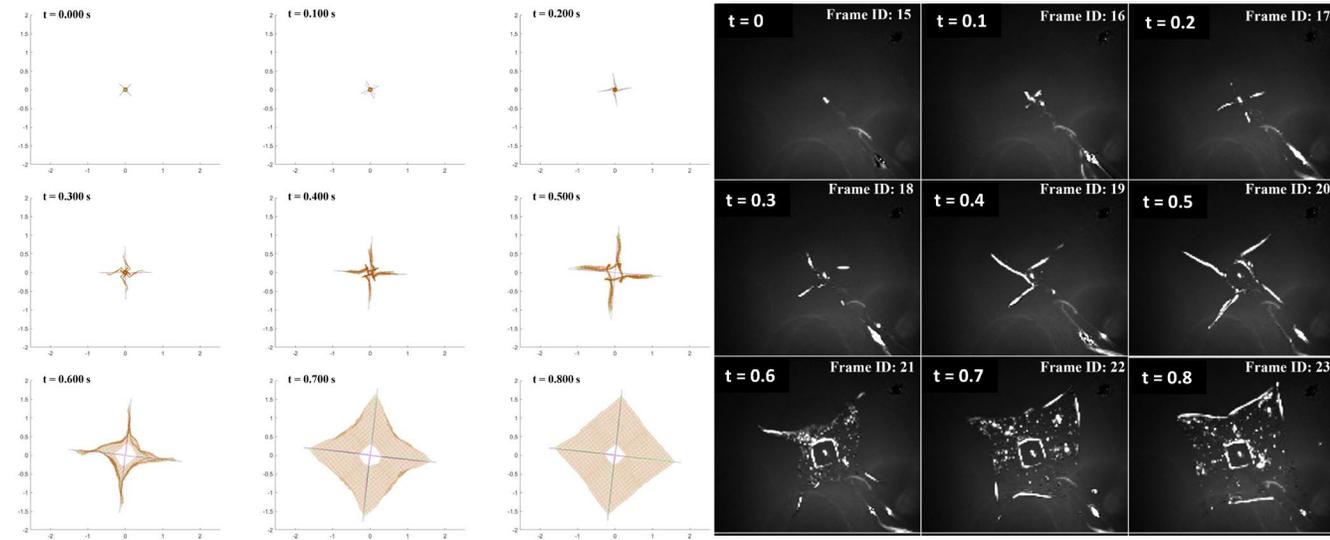
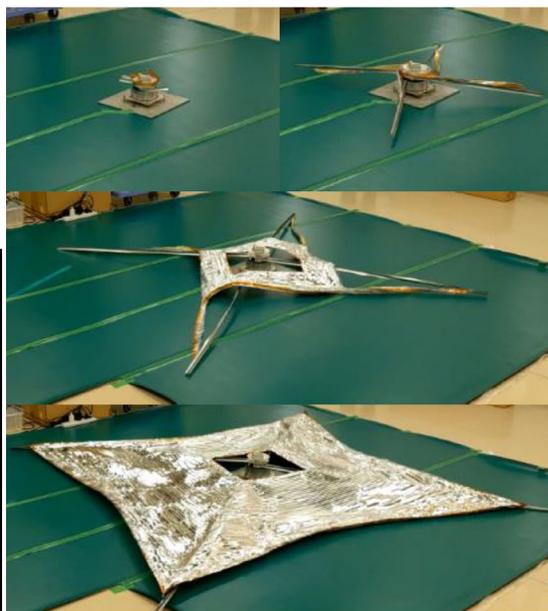
2. 人工衛星用展開構造物 (宇宙ビジネスに新規参入する例として)

課題は？ 課題への対応策は？(ねらい目？)

c. 展開挙動の予測

- 数値計算技術は向上してきているが、膜の展開の数値シミュレーションは、まだ、それほど簡単ではない(膜同士の接触やパラメータ同定等も含めて)。

Dr. Alperen Ahmed (東北大)



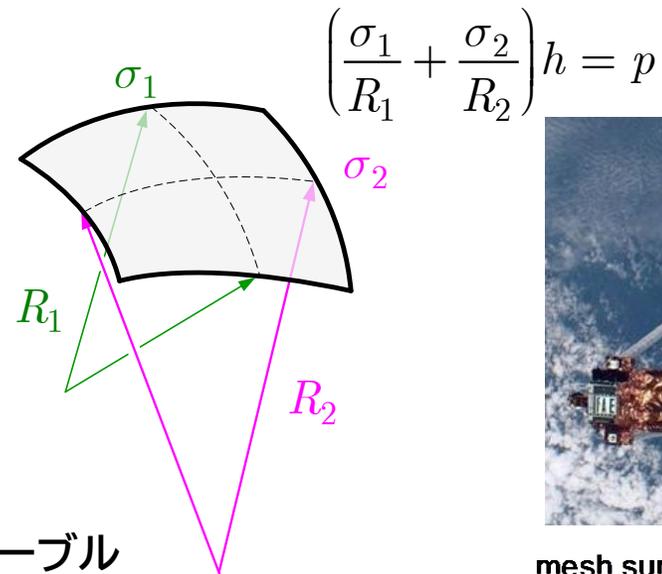
2. 人工衛星用展開構造物 (宇宙ビジネスに新規参入する例として)

課題は？ 課題への対応策は？(ねらい目？)

d. 展開後の剛性

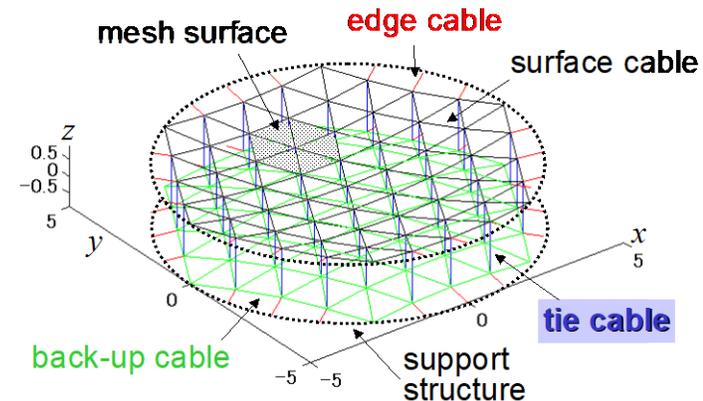
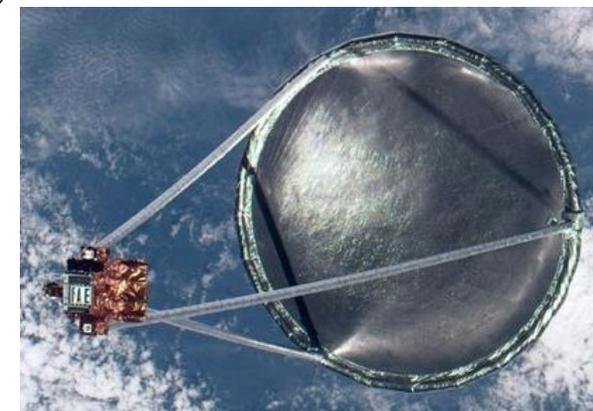
- 張力構造の面外剛性は(応力)/(長さ)で効いてくる。
- したがって、構造を大きくした場合、面外剛性を保とうすると、応力を大きくしないといけなくなる。
- しかし、応力が大きくなると、許容応力に対するマージンが減るため、設計が難しくなる。

インフレータブル構造



ケーブル

$$K = \frac{EA}{\ell_o} \tilde{k}_m + \frac{\sigma A}{\ell} \tilde{k}_g$$

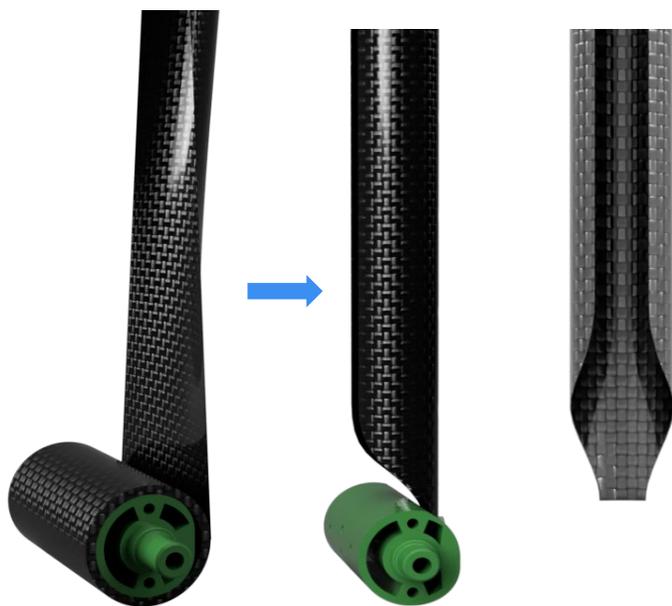


2. 人工衛星用展開構造物 (宇宙ビジネスに新規参入する例として)

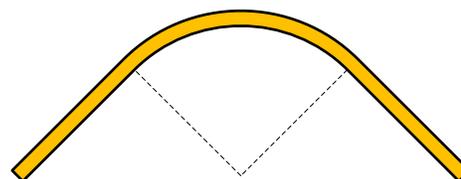
課題は？ 課題への対応策は？(ねらい目？)

d. 展開後の剛性

- 巻き付け収納型の伸展ブームの場合、伸展した後、根元を固定しないと剛性が要求を満たさない場合もある。
- ラッチ機構を取り付けて、かつ、収納効率を高める工夫が必要。



end cut正面



断面形状



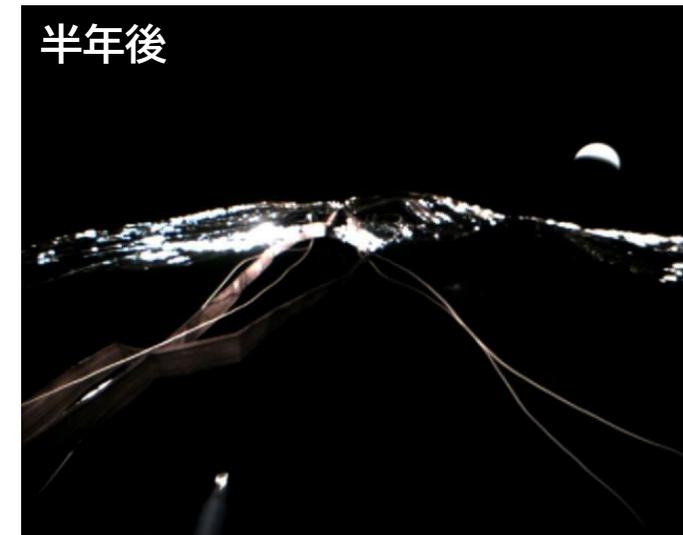
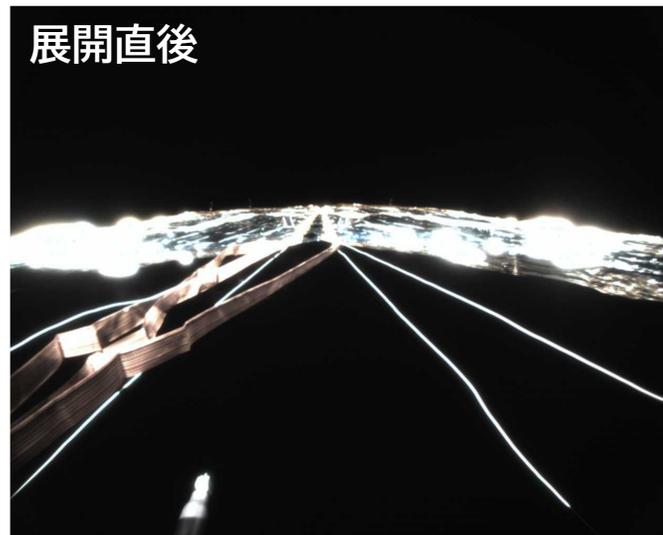
2. 人工衛星用展開構造物 (宇宙ビジネスに新規参入する例として)

課題は？ 課題への対応策は？(ねらい目？)

e. 形状精度

- 膜形状は部材の形状誤差や折り目のバネ剛性、(わずかながら存在する)膜の曲げ剛性、太陽電池セル等の膜面貼付デバイスの剛性に敏感。
- 小型ソーラー電力セイル実証機IKAROSの場合、膜形状が非対称になって、太陽輻射圧によりスピントルクが生じてしまい、姿勢制御用の燃料を予想以上に消費してしまった。
- このことは、ソーラーセイルは、セイル形状が制御されていないと、燃料フリーにはならないことを意味している。
- SSPSの場合も、送電部に膜面アンテナを採用するなどして軽量化して剛性が落ちると、太陽輻射圧が膜形状に与える影響は無視できなくなるかもしれない。

IソーラーセイルKAROSのセイル形状

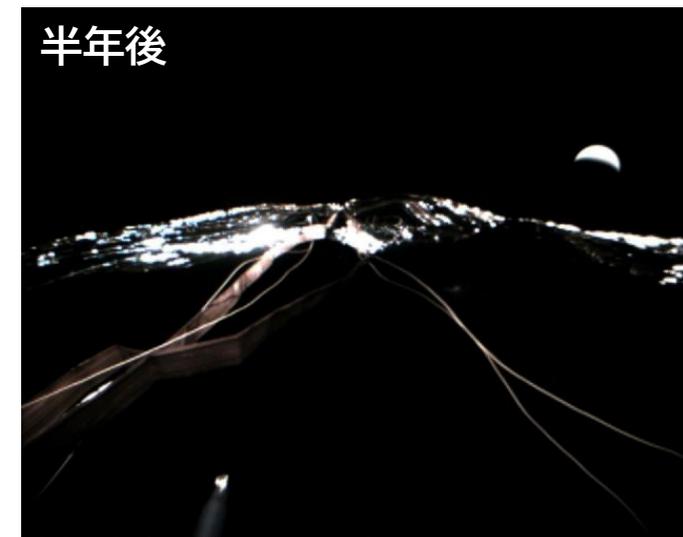
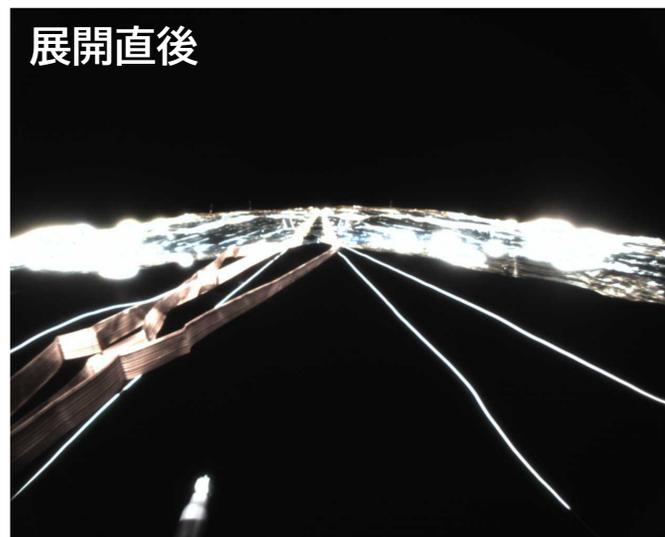
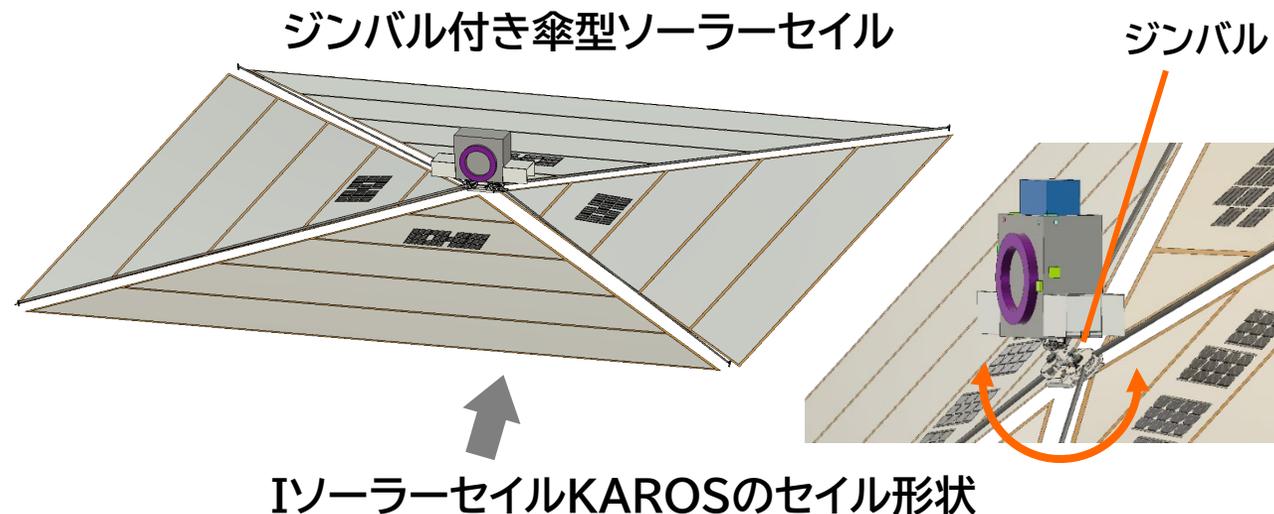


2. 人工衛星用展開構造物 (宇宙ビジネスに新規参入する例として)

課題は？ 課題への対応策は？(ねらい目？)

e. 形状精度

- そこで、東工大の中条先生は、右図のようなピラミッド型のセイルを採用し、ジンバルでセイル構造全体の姿勢を変更できるものを提案している。
- ただし、セイル構造に対する形状精度要求はそれでも高い(例えば、等価ねじれ角要求が数degのオーダー)。

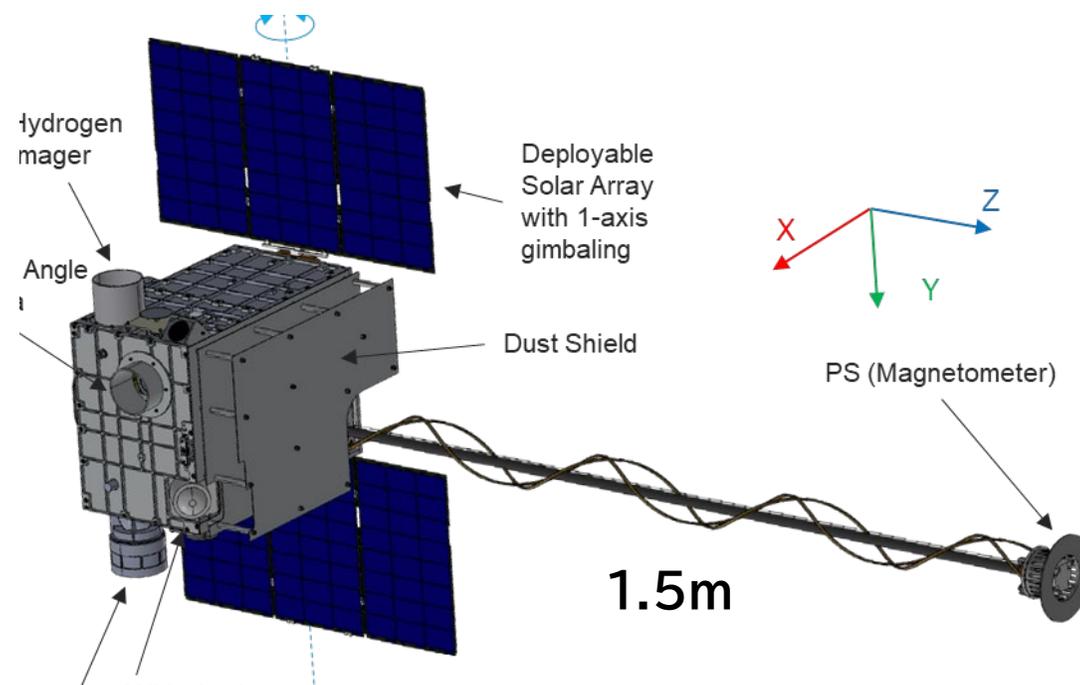


2. 人工衛星用展開構造物 (宇宙ビジネスに新規参入する例として)

課題は？ 課題への対応策は？(ねらい目？)

e. 形状精度

- Comet Interceptorの場合、伸展boom先端の磁気センサの姿勢誤差を5deg以内に抑えないといけない。
- boomが剛であれば要求を満たすのは容易だろうが、boomが柔軟なCFRPでできている場合、CFRPの時間依存の挙動(粘弾性挙動)などの影響で、容易ではない。



2. 人工衛星用展開構造物 (宇宙ビジネスに新規参入する例として)

結局のところ？

【まとめ】

1. 展開構造物が深宇宙探査ミッション等でしばしば求められる。
2. きわめて軽量で展開可能な平面構造や伸展ブームが特に求められている。
3. ロールアップできる薄肉の複合材や金属のブームが研究されてきていて、深宇宙探査ミッションに用いられつつある。
4. こういった、きわめて柔軟で軽量な大型構造の開発にはいくつか課題がありそう。
 - a. 打ち上げ前の検証(展開構造物が適切に動作するかを地上で確認する作業)
 - b. 打ち上げ環境に対する耐性(特に、振動環境)
 - c. 展開挙動の予測
 - d. 展開後の剛性
 - e. 形状精度

これらの課題を解決できれば、
一応、ビジネスにはなる？

2. 人工衛星用展開構造物 (宇宙ビジネスに新規参入する例として)

現状は？

【宇宙でミッションを行いたい人間からの切なるお願い(助けてください)】

- 「つくり手」となっていたただける企業さんの数が足りません。
- 衛星を設計してくれる人、衛星に搭載するサブシステムやコンポーネントを設計してくれる人、衛星を作ってくれる人、サブシステムやコンポーネントを作ってくれる人が足りません。
- 品質保証をしてくれる人が足りません。試験等の作業をしてくれる人が足りません。

- 大量生産で定常的に利益が出るようになるのは、まだ少し先かもしれませんが、宇宙「も」やってみようと思ったださる企業さんが増えてほしいです。
- 特殊な技術を有する企業さんが相応の利益を得られる構造にはなっていると思います(いい・悪いは別として、まだ、価格競争は一部でしか起こっていないです)。

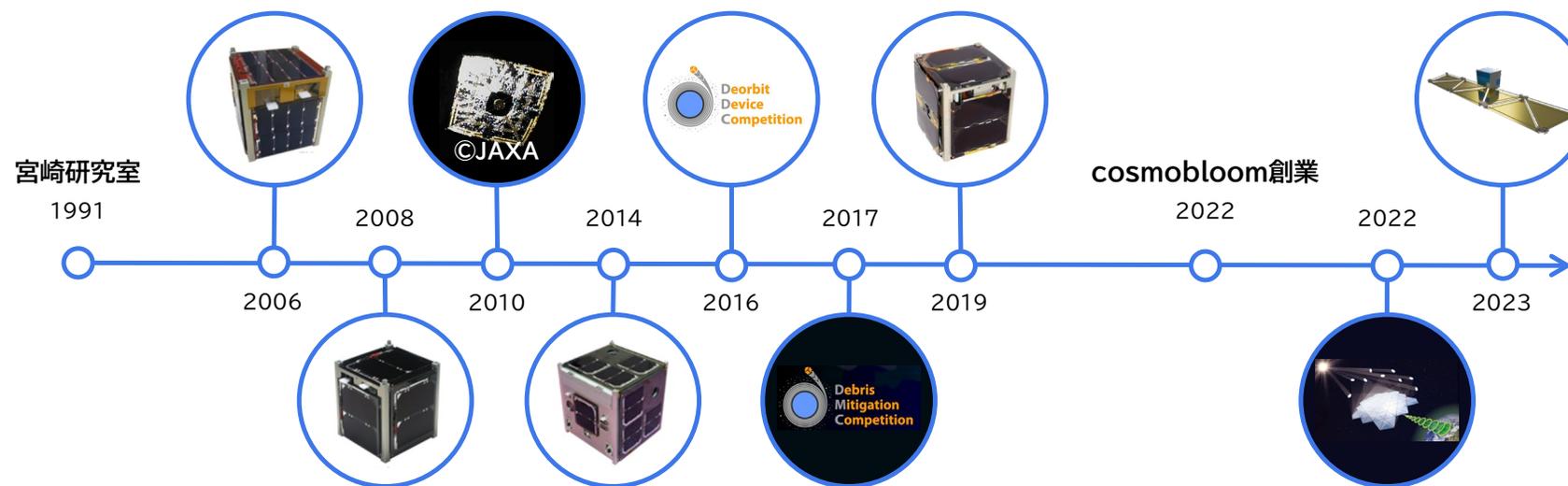
2. 人工衛星用展開構造物 (宇宙ビジネスに新規参入する例として)

現状は？

【一応、自分でも少しは努力しているところです】

－ 卒業生が立ち上げたスタートアップのお手伝い

会社名	株式会社cosmobloom
設立日	2023年4月24日
代表者	代表取締役 福永桃子
社員数	5名
拠点	東京都大田区南六郷3丁目10番16号六郷BASE229
事業内容	宇宙構造物の設計:開発および販売、宇宙構造物の設計支援
資本金	300万円



2. 人工衛星用展開構造物 (宇宙ビジネスに新規参入する例として)

現状は？

【一応、自分でも少しは努力しているところです】

－ 卒業生が立ち上げたスタートアップのお手伝い

academist **10** YEARS

academistとは？ ログイン 新規登録

宇宙太陽光発電の実現に向け膜構造の宇宙利用を加速させる！

</> 埋め込み シェア ツイート

SUCCESS 宇宙太陽光発電の実現に向け
膜構造の宇宙利用を加速させる！

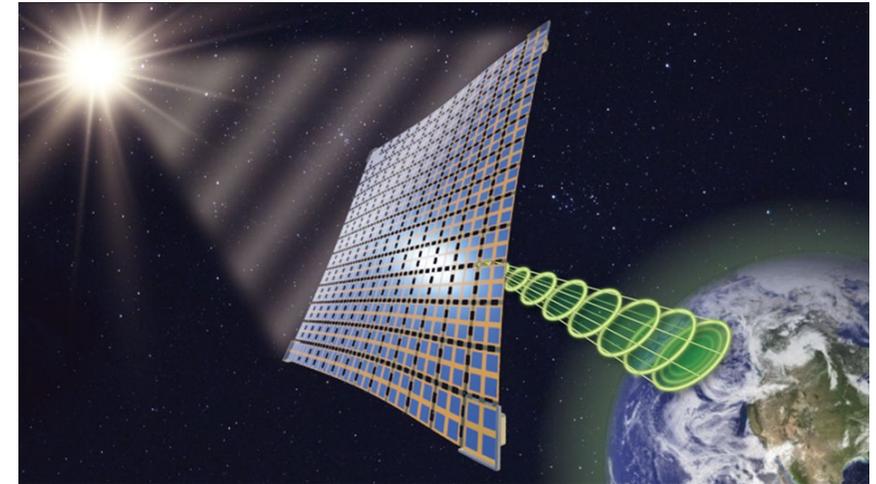


福永 桃子 / 小野 弘幸  
株式会社cosmobloom、共同創業者

支援総額: 2,198,555 円
目標金額: 2,000,000 円

		
達成率	サポーター	残り時間
109 %	98 人	終了

募集期間は終了しました



西日本製造技術イノベーション2024
宇宙ものづくり産業セミナー(西日本総合展示場)
2024年7月5日(金)13:30~16:00

ご清聴ありがとうございました

ぜひ、多くの企業の方々に宇宙分野にご参入いただければと願っております。

宮崎康行(JAXA宇宙科学研究所)
miyazaki.yasuyuki@jaxa.jp

