



# 軽量高精度カーボン鏡の 長期宇宙曝露実験 (CAGOME) - 飛行後試料の評価 (中間報告) -

第15回 宇宙環境シンポジウム

2018年10月31日

西堀 俊幸、神谷 友裕(JAXA)、石田 良平、真鍋 武嗣(阪府大)、  
石村 康生(早大)、永井 康史、落合 啓(NICT)、菊池 健一(国立天文台)、  
中村 信幸(エイ・イー・エス)、中村 和行(テクノソルバ)、村瀬 允弘(TMP)、  
宮崎 謙一(三協製作所)、宗村 和治(ノバ・エンジニアリング)、  
久米 将実(三菱電機)、  
原 憲一(日本グラファイトファイバー)、松本 隆之(JXTGエネルギー)

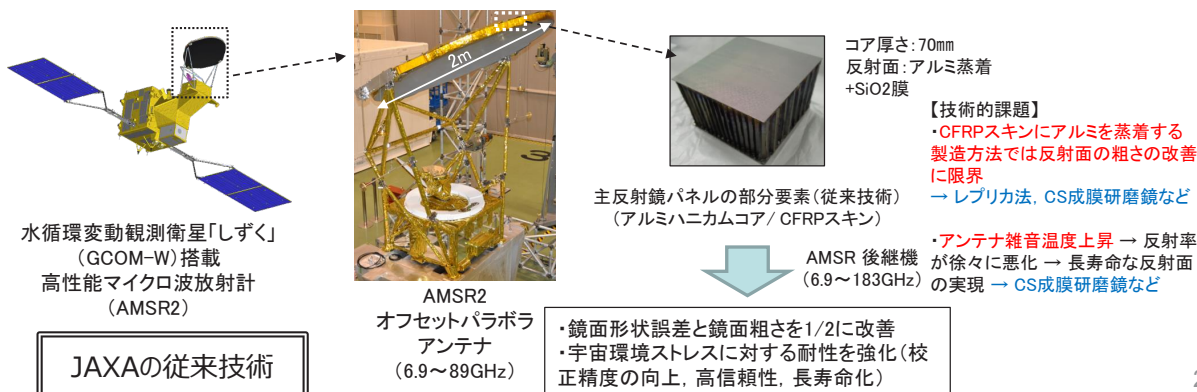


## 目的/従来技術/ユーザアウトカム

高性能マイクロ波放射計(AMSR)の後継機に従来(89GHz)より高周波な観測バンドを追加する検討が進んでいる。その理由は、テラヘルツ帯の大気窓領域(165GHz, 229GHz, 243GHz帯)における輝度温度の固体降水強度に対する感度が89GHzより高く、水蒸気の吸収帯(183GHz)の輝度温度が水蒸気の吸収帯の端であるほど固体降水粒子に対して感度が良いため、水蒸気の鉛直分布を観測する183GHz帯のサウンダと合わせて追加することなども検討されている。

AMSRにテラヘルツ帯の観測バンドを追加するためには、アンテナ反射鏡の形状誤差と表面粗さを現状より1/2以下に抑制する必要がある。しかしながら、従来用いられている反射面の製造手法(CFRPのスキンにアルミを蒸着)では、蒸着面に繊維の凹凸の転写が生じるため、表面粗さを改善することが難しい。加えて、AMSR2ではアンテナ鏡面の反射率が序々に低下(アンテナ雑音温度の上昇)していると疑われる事象も報告されている。

そこで本研究はCFRP製軽量高精度ソリッド鏡の長寿命化と~2THzに対応するオールCFRP製ソリッド鏡の技術成熟度(TRL)を4以上にすることが狙いであり、獲得された技術成果はテラヘルツ帯を観測する将来の地球観測衛星の放射計やサウンダ等に還元するものである。

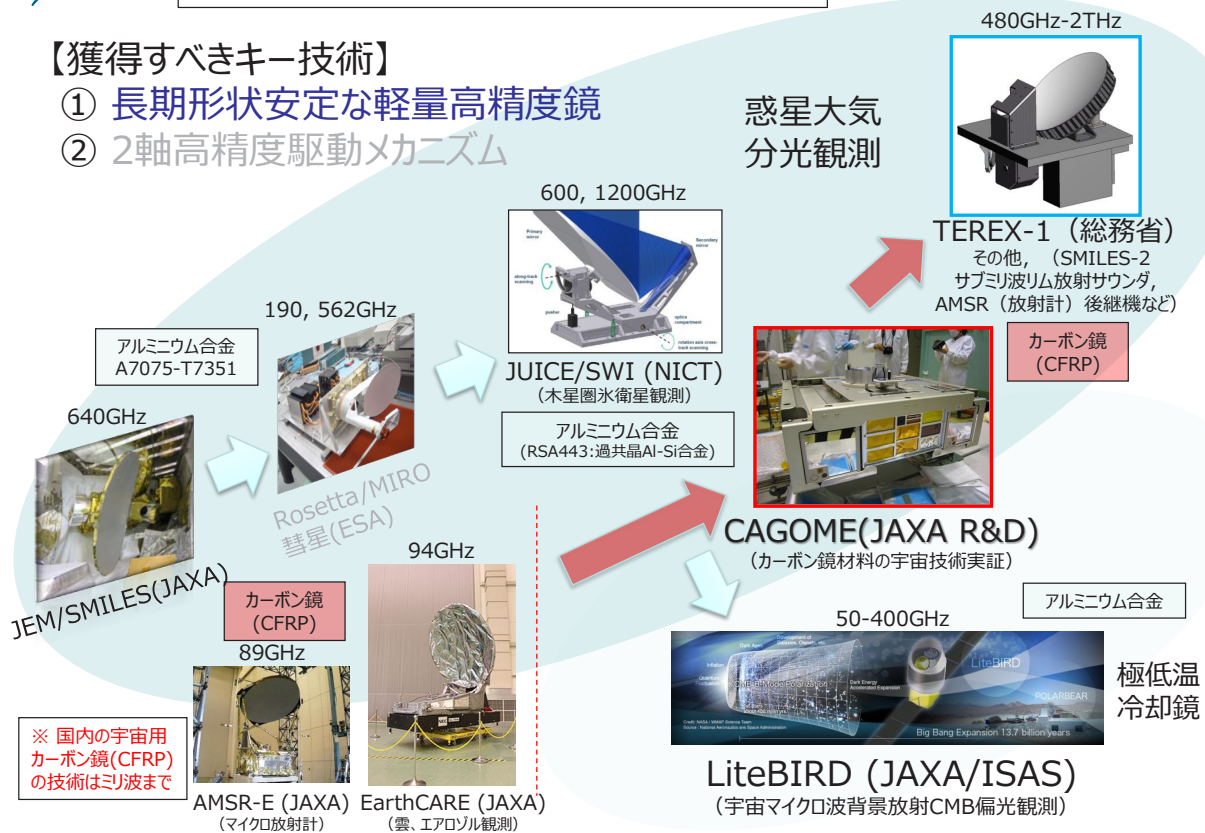




## ミリ波・テラヘルツ波衛星ミッション

### 【獲得すべきキー技術】

- ① 長期形状安定な軽量高精度鏡
- ② 2軸高精度駆動メカニズム



3



## CAGOME実験の概要

ゼロ熱膨張設計を行ったオールCFRPハニカムサンドイッチパネルを主構造とした新しいアルミニウム反射鏡面を持つ軽量高精度鏡(鏡面精度:  $5\mu\text{m r.m.s}$ 以下)を部分的に製作し、軌道上の「きぼう」船外簡易取付機構(ExHAM)に取付け、長期間宇宙空間に実験試料を曝露させた後に、地上に回収して分析することにより、地上試験では模擬できない、熱、紫外線、放射線、原子状酸素など複合的な宇宙環境劣化要因による鏡面、材料、リフレクタ構造の耐性確認と長期間の経年劣化を定量的に得ることが本研究の目的である。

地上におけるストレス試験の結果と回収した実験試料を詳細に比較・分析と追加した地上研究(さらなる高精度化と試作試験)により、オールCFRP製軽量高精度鏡の長期信頼性と寸法安定性を実証し、高性能放射計(AMSR3以降の後継機)等に計画される100GHz以上(テラヘルツ帯への拡張)のラジオメータ開発に製造技術等を還元させることが研究の狙いである。

→ 2THzまで対応できる口径1m以下のソリッド主鏡  
(3年間実施, 本年度は最終年度)



実験試料は平成27年8月に「こうのとりの5号機(HTV5)」により無事「きぼう」に輸送に成功した。平成27年11月に油井宇宙飛行士により「きぼう」船内においてExHAMに実験試料が取り付けられ、2年以上の長期宇宙曝露実験を実施(上図:実験試料, 下図:ExHAMで実験中の姿)。

4



## CAGOME実験試料の構成 (1/3)

【反射面表面】: SiO<sub>2</sub>層によるコート

【反射鏡面の種類】: 1) エポキシ樹脂のフラット面にアルミを蒸着、  
2) アルミのプラズマ溶射して切削、3) インバーの接着して切削、4) 従来技術と材料曝露

【ゲルコート】: エポキシ樹脂

【表皮】: ピッチ系高弾性炭素繊維/  
シアネートエステル樹脂

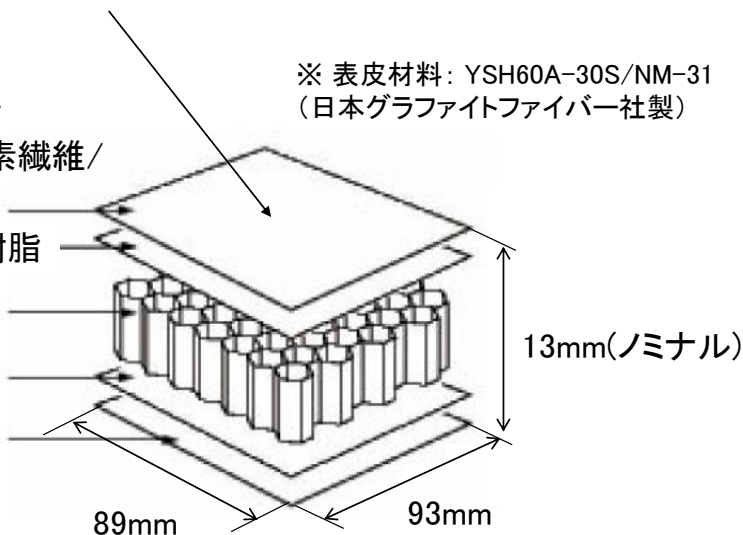
【シート接着材】: エポキシ樹脂

【コア】カーボンハニカム  
(ピッチ系高弾性炭素繊維)

シート接着材

カーボン表皮(表と同じ)

※ 表皮材料: YSH60A-30S/NM-31  
(日本グラファイトファイバー社製)



※ コア材料: Ultracor UCF / NGF T700S-12K/NM-51  
(Ultracor Inc.社製 / 日本グラファイトファイバー社製)

5



## CAGOME実験試料の構成 (2/3)

### 【蒸着鏡面タイプ】

部位	設計結果	備考
反射面	構成: ゲルコート層(レプリカ面)の上にアルミニウムを蒸着(厚さ: 2μm以下) 保護層: SiO <sub>2</sub> コート(厚さ: 0.08μm)	
ゲルコート層	厚さ: 0.2mm 以下 材料: エポキシ樹脂(三興化学社製 JER 828/ハードナー H951)	
表皮	材料: YSH60A-30S/NM-31 積層: [0/45/-45/90/90/-45/45/0]×2, 16ply 厚さ: 1.44mm	裏表対称
接着層	フィルム状接着剤 (3M社製AF183-2K) 厚さ: 0.2mm 以下	表皮とコアの接着
コア	カーボンハニカムコア (Ultracor社 UCF-125-3/8-2.0) 材料: YSH60A, 45度, 45度 セルサイズ: 3/8 コア高さ: 10mm	
パネル厚さ	13mm(ノミナル) + レプリカ層 + 蒸着層	
質量特性	54g	



蒸着鏡面タイプ  
(上: 外観、下: 構造)

### 【溶射鏡面タイプ】

部位	設計結果	備考
反射面	構成: アルミニウムのプラズマ溶射厚さ: 100μm 保護層: SiO <sub>2</sub> コート(厚さ: 0.08μm)	
表皮	材料: YSH60A-30S/NM-31 積層: [0/45/-45/90/90/-45/45/0]×3, 24ply 厚さ: 2.16mm	裏表対称
接着層	フィルム状接着剤 (Cytec社 FM300) 厚さ: 0.2mm 以下	表皮とコアの接着
コア	175×182mmの角パイプを集成、コア高さ: 7.5mm 積層: [0/90/0], 3ply, 0.3mm 材料: 0度 YSH60A-30S, 90度 T700S-12K	
パネル厚さ	13mm 以下	
質量特性	84g	



溶射鏡面タイプ  
(上: 外観、下: 構造)

### 【接着鏡面タイプ】

部位	設計結果	備考
反射面	構成: インバー接着(厚さ: 0.4mm) 保護層: SiO <sub>2</sub> コート(厚さ: 0.08μm)	Inver 36
表皮	材料: YSH60A-30S/NM-31 積層: [0/45/-45/90/90/-45/45/0]×2, 16ply 厚さ: 1.44mm	裏表対称
接着層	フィルム状接着剤 (Cytec社 MFA110-5) 厚さ: 0.2mm 以下	表皮とコアの接着
コア	カーボンハニカムコア (Ultracor社 UCF-225F-3/8-2.0) 材料: YSH60A, 45度, 1ply セルサイズ: 1/4 コア高さ: 6.35mm	
パネル厚さ	12mm 以下	
質量特性	108.5g	



接着鏡面タイプ  
(上: 外観、下: 構造)

### 【蒸着鏡面分割タイプ】

部位	設計結果	備考
パネル	蒸着鏡面タイプと同一のハニカムサンドイッチパネルを表面処理が異なる4領域に分割(材料構成としては分割)	
表面1/4 (エリアA)	表面: 処理なし(ゲルコート層無し)	蒸着鏡面タイプ
表面2/4 (エリアB)	表面: ゲルコート層(レプリカ) 厚さ: 200μm	蒸着鏡面タイプ
表面3/4 (エリアC)	表面: 表皮にアルミ蒸着 蒸着厚さ: 2~3μm 以下	AMS2 アンテナ標識
表面4/4 (エリアD)	表面: 表皮にアルミ蒸着(SiO <sub>2</sub> コートあり) コート厚さ: 1~2μm	AMS2 アンテナ標識
パネル厚さ	12mm(ミミナル) + レプリカ層 + 蒸着層	
質量特性	46.2g	



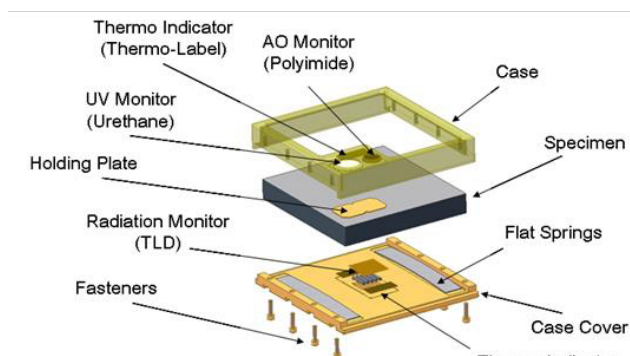
蒸着鏡面分割タイプ  
(上: 外観、下: 構造)

6

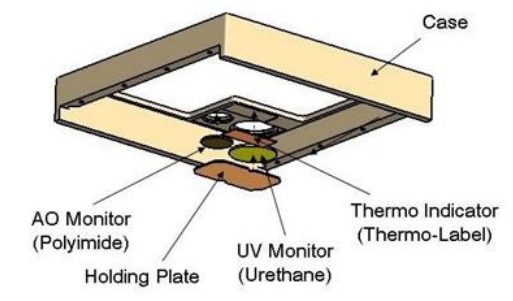




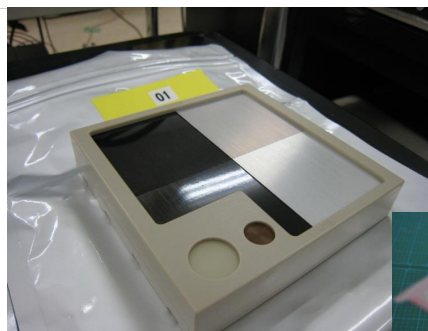
## CAGOME実験試料の構成 (3/3)



実験試料の分解図(全体)



実験試料の分解図(カバーの裏)



実験試料の外観(蒸着鏡面分割タイプ)と BioPADLES

曝露実験中に試料が受けるトータルトータル吸収線量の測定精度と予測精度を向上させるために、ISSで使用実績があるBioPADLESを試料のコンテナに貼り付けることにした。



輸送梱包状態  
(引き渡し:2015年7月10日)

7



## CAGOME実験の実施

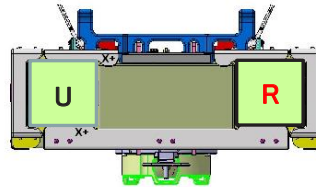
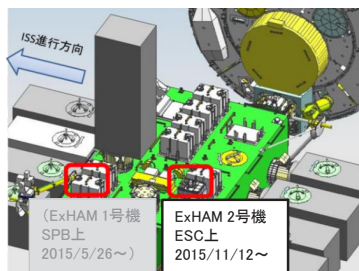


ExHAMに取り付けられ船外宇宙曝露実験を開始したCAGOME実験試料  
(2015年11月11日 実験開始 ~ 2017年3月10日 1回目試料回収 → 485日)  
(2017年4月13日 実験開始 ~ 2018年5月15日 2回目試料回収 → 397日)

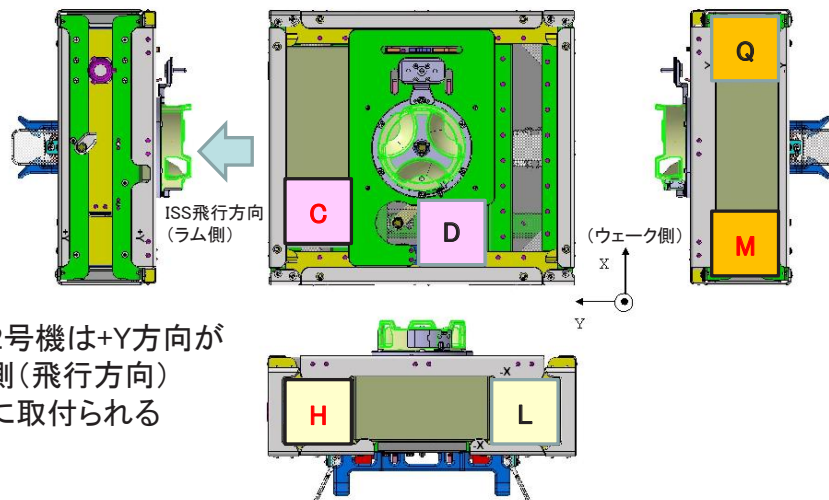
8



## ExHAMの位置とCAGOME実験試料の取付位置



ExHAM 搭載位置	試料タイプ	備考
C	溶射鏡面タイプ	回収
D	溶射鏡面タイプ	曝露2年目
H	接着鏡面タイプ	回収
L	接着鏡面タイプ	曝露2年目
M	蒸着鏡面分割タイプ	回収
Q	蒸着鏡面分割タイプ	曝露2年目
R	蒸着鏡面タイプ	回収
U	蒸着鏡面タイプ	曝露2年目



※ ExHAM2号機は+Y方向がISSのラム側(飛行方向)になるように取付られる

9



### 【CAGOME実験】 1回目宇宙曝露試料の回収 ～2回目宇宙曝露試料の回収



2017/3/13 19:00  
ExHAMから実験試料を取り外す(軌道上)

2017/3/19 6:11  
ドラゴン補給船運用10号機 ISS 離脱

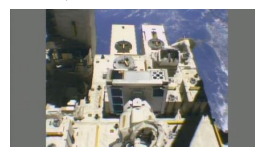
2017/4/28 16:00 1回目  
回収した実験試料の開封(JAXA 筑波)



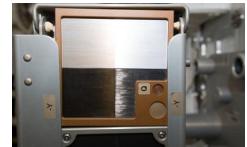
2017/3/19 11:47  
ドラゴン補給船カプセル 着水



2018/9/19 11:30 2回目  
回収した実験試料の開封(JAXA 筑波)



2017/4/13 16:50  
2年目の宇宙曝露実験開始(軌道上)



2018/8/5 7:32  
ドラゴン補給船カプセル 着水



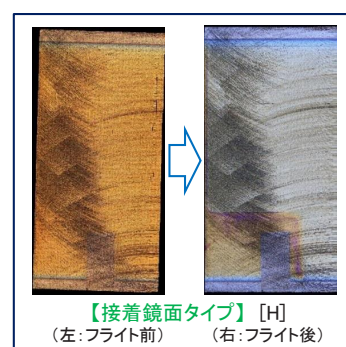
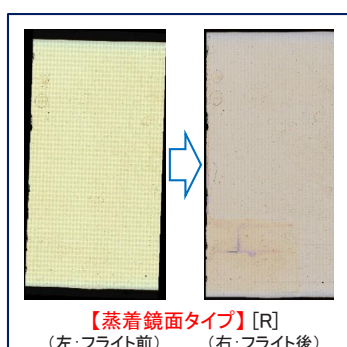
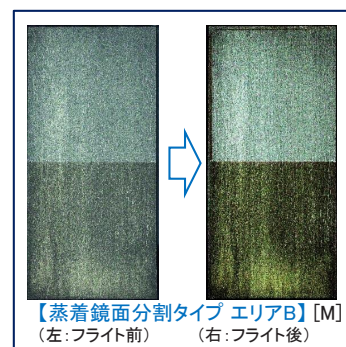
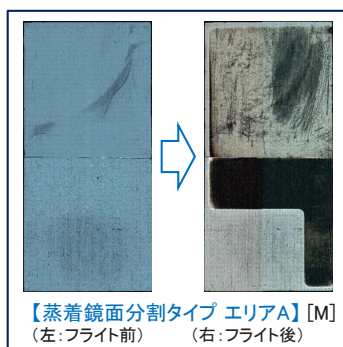
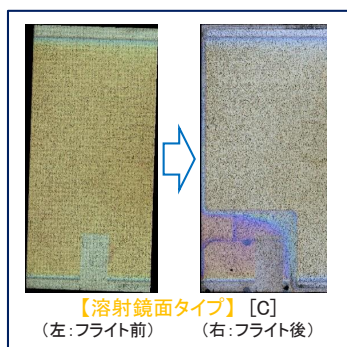
2018/8/5 1:18  
ドラゴン補給船運用15号機 ISS 離脱

10





## 回収試料（1回目）の様子（反射面）



11



## 回収試料（1回目）の宇宙環境モニタの解析状況 (最高到達温度、AO、UV)



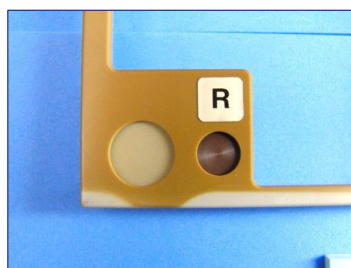
最高到達温度モニタ（鏡面側）の様子



最高到達温度モニタ（ExHAM側）の様子

取付位置 (試料種)	最高到達温度 [°C] (鏡面側)	最高到達温度 [°C] (ExHAM側)
R (蒸着鏡面)	80	40
C (溶射鏡面)	90	50
H (接着鏡面)	95 以上	60
M (分割鏡面)	90	60

取付位置 (試料種)	原子状酸素 [atoms/cm <sup>2</sup> ]	紫外線 [ESD]
R (蒸着鏡面)	$1.93 \times 10^{20}$	10
C (溶射鏡面)	$2.03 \times 10^{20}$	40
H (接着鏡面)	$2.06 \times 10^{20}$	35
M (分割鏡面)	$2.32 \times 10^{20}$	20



原子状酸素、紫外線ドーズモニタの様子

12



## 回収試料（1回目）の検査（宇宙環境モニタの解析状況）

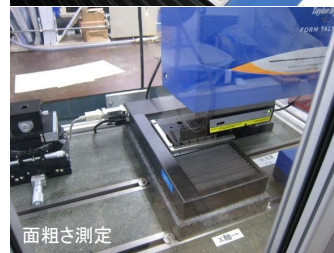
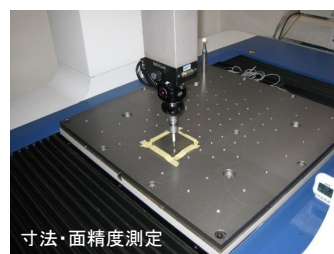
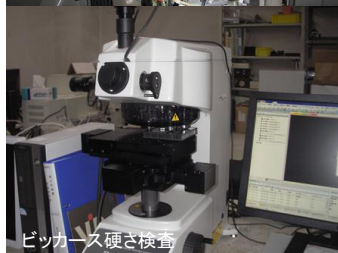
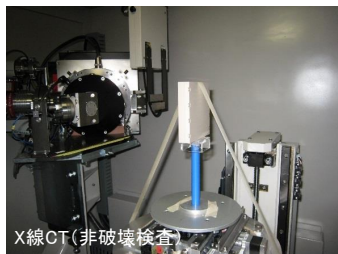
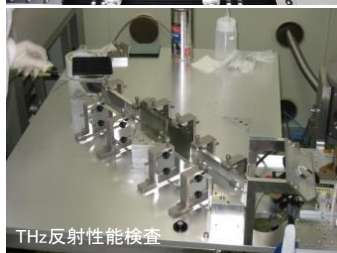
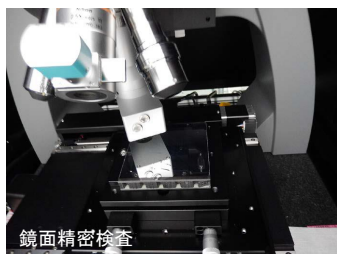
No	モニタ項目	算出方法	進捗	解析結果	備考
1	原子状酸素 ドーズモニタ	ベスペル(ポリイミド樹脂)の 質量変化から原子状酸素の ドーズを算出する	解析済	1.93~2.32 × 10 <sup>20</sup> [atoms/cm <sup>2</sup> ] (取付位置Mが最大を記録) (取付位置Rが最小を記録)	0.7~0.8[mg]減少
2	紫外線 ドーズモニタ	ポリウレタンフィルムの太陽 光吸収率の変化 Δαsと紫外 線照射量対太陽光吸収率の 地上較正データから紫外線 ドーズを算出する	解析済	10~40 [ESD] (取付位置Cが最大を記録) (取付位置Rが最小を記録)	精度: +/- ~10%
3	最高到達温度 モニタ	不可逆性を持つ温度シール の変色により試料の最高到 達温度を算出する	解析済	80℃~95℃以上 (取付位置Hが最高温度を記録) (取付位置Rが最低温度を記録)	サーモラベル 精度: +/-2℃
4	放射線 ドーズモニタ	試料中に5セル搭載したTLD MSO-Sを取り出し、TLDリー ダーにより熱蛍光線量測定を 行って吸収線量を算出する	解析中	483~360 [mSv] (TBD) フェーディング 補正検討中 (取付位置Mが最大を記録) (取付位置Cが最小を記録)	低LET領域 (<10[keV/μm])の 吸収線量を測定、 フェーディング補正 検討中
5	BioPADLES	宇宙曝露期間中の与圧部と 地上における放射線ドーズを 算出する(485日)	解析済	164 ± 14.3 [mSv]	地上: 1.93 +/- 0.1[mSv]

13



## 回収試料（1回目）の検査

- ✓ Dragon CRS-10により軌道上から回収(1回目)された軽量高精度鏡フ  
ライト品(実験試料)の検査・分析と宇宙環境モニタの読取を実施した。  
検査・分析方法は飛行前のベースライン検査(寸法, 面精度, 面粗度,  
X線CT探傷, 顕微鏡撮影, 硬さ), 性能検査(テラヘルツ波反射率測定),  
レーザ干渉計による表面精度・表面粗さの精密検査と同じである。



14



## 1回目回収試料の検査（検査の進捗状況）

No	検査項目	検査内容	進捗	検査結果	備考
1	目視検査	実験試料に傷、異物、破損等大きな異常が無いかを目視にて確認する	検査済	破損等無し	試料ケース(PEEK材)が紫外線で茶色に変色
2	寸法検査	実験試料の外形寸法を精密に測定する	検査済	外寸増減: 20 $\mu\text{m}$ 以下	測定精度 2.4 $\mu\text{m}$ 以下
3	質量検査	実験試料の質量変化を精密に測定する	検査済	質量減少: 最大 0.16g (溶射タイプ)	測定分解能 0.1mg
4	面粗度検査	反射鏡面の粗さ変化を測定する	検査済	SiO <sub>2</sub> 膜あり: 0.02 $\mu\text{m rms}$ 劣化 SiO <sub>2</sub> 膜無し: 0.04 $\mu\text{m rms}$ 劣化	測定分解能 0.2nm
5	面精度検査	反射鏡面の面精度と平面度の変化を測定する	検査済	最大 1 $\mu\text{m r.m.s}$ 劣化 (溶射タイプ)	精度 2.4 $\mu\text{m}$ 以下
6	顕微鏡撮影	反射鏡面の状態を顕微鏡で全面撮影し、マイクロクラック等の数、大きさの変化を測定する	検査済	— (クラック、傷の統計処理中)	反射面 70 倍撮影
7	硬さ測定	CFRP表皮の硬さの変化を調べる	検査済	-8% ~ +28% の硬度変化を確認	ビッカース硬さ HV0.05, HV0.3
8	X線CT探傷	ハニカムパネル内部構造の変化を調べる	検査済	内部破損無し	マイクロX線CT
9	THz反射率測定	電磁波の反射率の変化を測定する	検査済	最大0.3%の反射性能の劣化を確認 (溶射タイプ)	測定周波数 640GHz
10	鏡面の精密検査	レーザ干渉計顕微鏡で鏡面の微細な立体構造を撮影する	検査済	RMS値の傾向は変化無し、分割と溶射タイプのPV値は増加	3次元光学プロファイラー Zygo社製 NewView7300

15

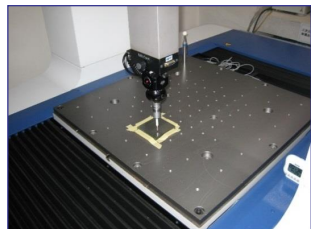


## 回収試料（1回目）の解析状況 （反射面の粗さと形状精度、保護膜）



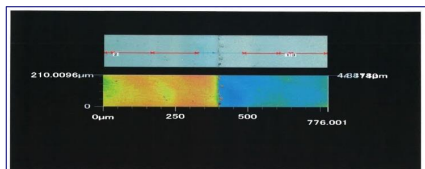
面粗さ測定の様子

取付位置 (試料種)	鏡面粗度 Rq [ $\mu\text{m rms}$ ] (飛行前)	鏡面粗度 Rq [ $\mu\text{m rms}$ ] (飛行後)
R (蒸着鏡面)	0.01	0.02
C (溶射鏡面)	0.51	0.29
H (接着鏡面)	0.07	0.07
M (分割鏡面)	0.19	0.21



形状測定の様子

取付位置 (試料種)	鏡面精度 [ $\mu\text{m rms}$ ] (飛行前)	鏡面精度 [ $\mu\text{m rms}$ ] (飛行後)
R (蒸着鏡面)	2.63	1.08
C (溶射鏡面)	0.95	1.91
H (接着鏡面)	6.47	7.13
M (分割鏡面)	0.69	0.67

SiO<sub>2</sub>膜厚の算出例

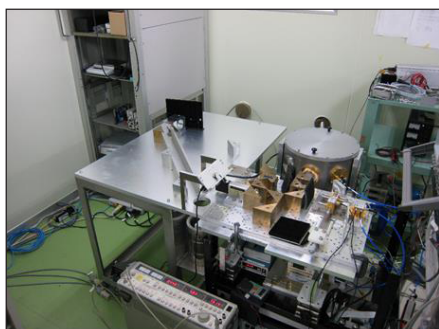
取付位置 (試料種)	SiO <sub>2</sub> 膜厚の減少 [ $\mu\text{m}$ ]	レプリカ層厚の減少 [ $\mu\text{m}$ ]
R (蒸着鏡面)	0.012	—
C (溶射鏡面)	0.049	—
H (接着鏡面)	< 0.13	—
M (分割鏡面)	< 0.8	2.0

16





## 回収試料（1回目）の解析状況（THz反射率）



テラヘルツ波反射損失測定装置@JAXA (特開2012-78249)



テラヘルツ波反射率測定 (640GHz)  
@JAXA TKSC

アルミ蒸着鏡面タイプのテラヘルツ波反射損測定結果（飛行前後）

試料ID	偏波	反射損 [%]	備考
Ev5, Ev4	perpendicular	0.283±0.085	FM : 005
Ev5, Ev4	parallel	0.536±0.063	(打上げ前)
Ev5, Ev4	perpendicular	0.365±0.148	FM : 005 ※1
Ev5, Ev4	parallel	0.364±0.143	(宇宙曝露後)

アルミ溶射鏡面タイプのテラヘルツ波反射損測定結果（飛行前後）

試料ID	偏波	反射損 [%]	備考
Sp7, Sp6	perpendicular	0.821±0.085	FM : 007
Sp7, Sp6	parallel	1.799±0.114	(打上げ前)
Sp7, Sp6	perpendicular	1.113±0.130	FM : 007
Sp7, Sp6	parallel	2.099±0.172	(宇宙曝露後)

インバー接着鏡面タイプのテラヘルツ波反射損測定結果（飛行前後）

試料ID	偏波	反射損 [%]	備考
In7, In5	perpendicular	1.122±0.091	FM : 007
In7, In5	parallel	2.013±0.082	(打上げ前)
In7, In5	perpendicular	1.091±0.188	FM : 007
In7, In5	parallel	2.144±0.151	(宇宙曝露後)

※1 熱サイクルストレスの影響で蒸着鏡の反射損と偏波の関係が平板に対する平面波の反射率の理論値と合わなくなる傾向は地上対照試験と矛盾しない

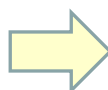
17



## 回収試料（1回目）の解析状況 (顕微鏡撮影画像による反射面の傷、クラック解析法)

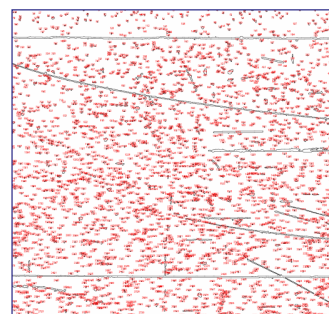


金属顕微鏡による鏡面撮影の様子

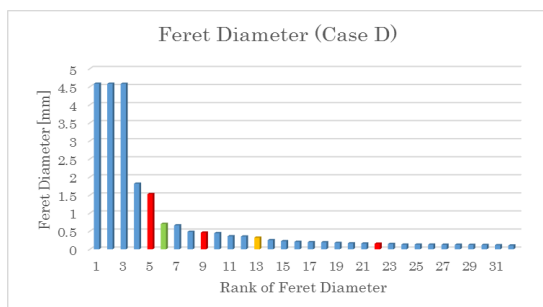


・アメリカ国立衛生研究所 (NIH)が開発した画像解析ソフトウェア ImageJ を使用

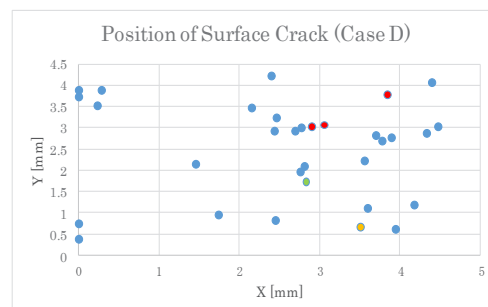
・手法: 1) 画像の二値化, 2) バンドパスフィルタ, 3) 寸法の設定, 4) 閾値の設定 (最大エントロピー法), 5) 粒子解析



二値化後の粒子解析結果  
(赤色は自動抽出された Feret)



抽出された鏡面の傷、クラックの大きさの例(蒸着鏡)

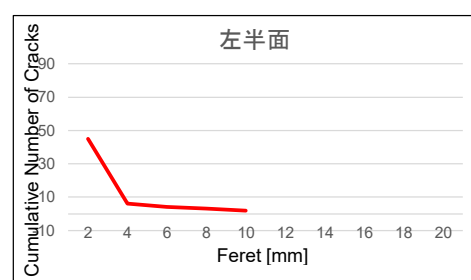
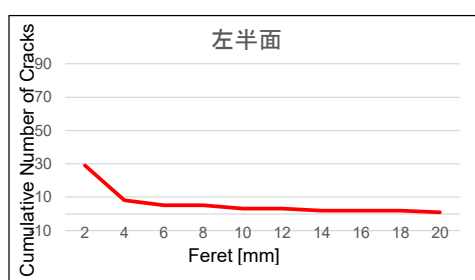
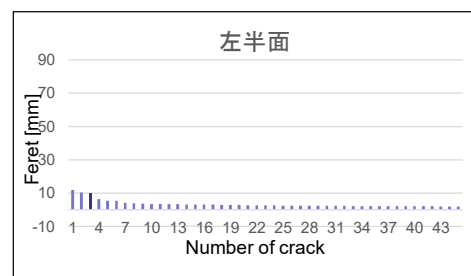
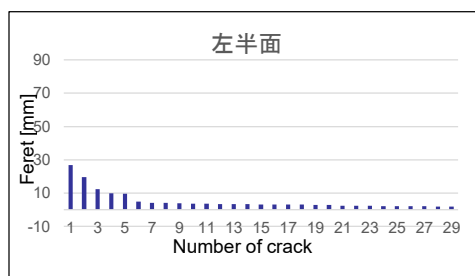


抽出された鏡面の傷、クラックの位置の例(蒸着鏡)

18



## 回収試料（1回目）の解析状況 （顕微鏡撮影画像による反射面の傷、クラック解析法） - 飛行前後での比較（蒸着鏡面タイプ） -

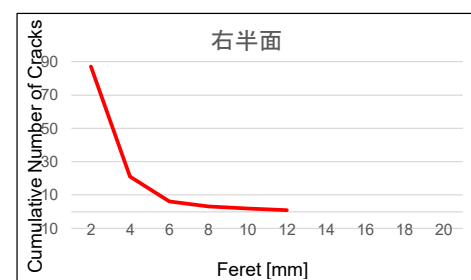
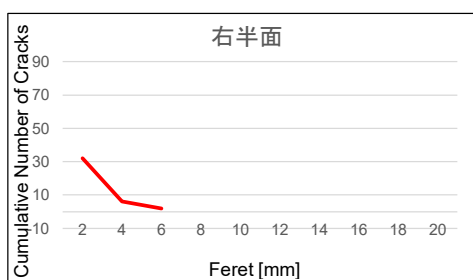
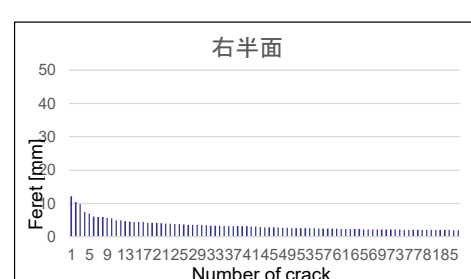
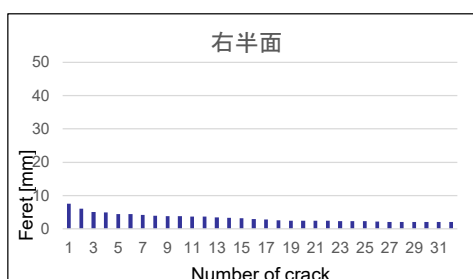


飛行前  
（上図：傷，クラックの粒子径と個数）  
（下図：傷，クラックの累積分布）

飛行後  
（上図：傷，クラックの粒子径と個数）  
（下図：傷，クラックの累積分布）



## 地上対照試験の解析状況 （顕微鏡撮影画像による反射面の傷、クラック解析法） - ストレス試験前後での比較（蒸着鏡面タイプ） -



ストレス試験前  
（上図：傷，クラックの粒子径と個数）  
（下図：傷，クラックの累積分布）

ストレス試験後  
（上図：傷，クラックの粒子径と個数）  
（下図：傷，クラックの累積分布）

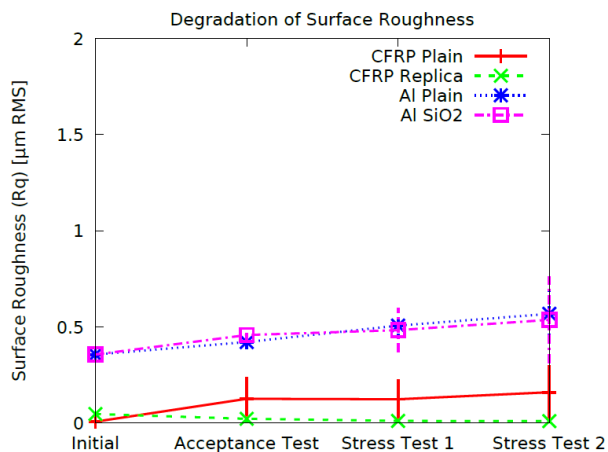




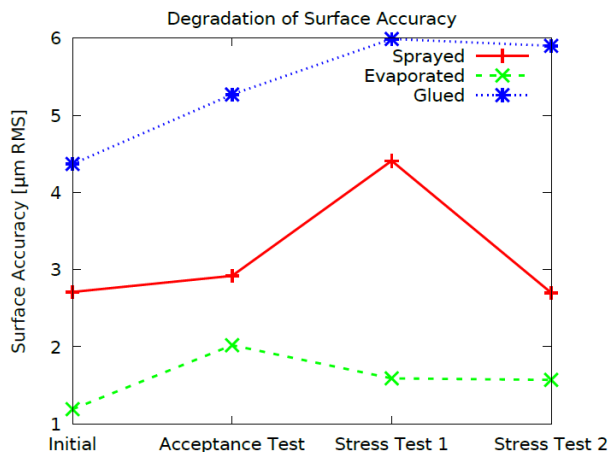
## 地上対照試験の結果

フライト品と同じ地上保管品を用いたストレス試験(2年間の宇宙環境相当;地上対照試験)と試験後の検査を2017年度に完了した。

ストレス試験の前後で質量, 寸法, 形状精度, 面粗さ, 樹脂の硬さ, 鏡面の顕微鏡撮影, テラヘルツ反射性能を測定し劣化傾向(鏡面精度と粗度が最大約20%変化)を確認した。しかし, テラヘルツ波の反射性能の変化はほとんど無く0.2%以下であった。蒸着鏡は偏波による反射率差に変化が確認されており, アルミ蒸着層に生じたクラックの影響によると判断した。



ストレス試験による鏡面粗度の劣化



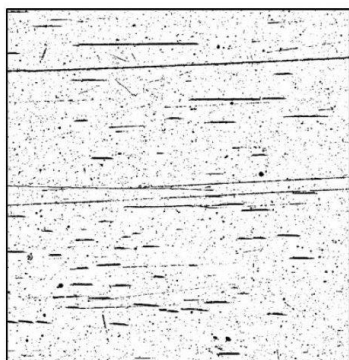
ストレス試験による鏡面形状の劣化

21



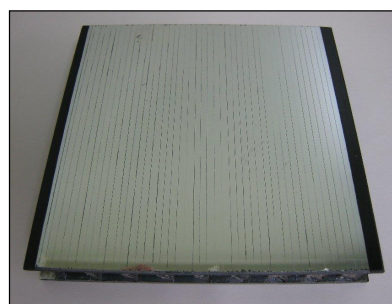
## 地上対照試験 (THz反射率)

アルミ蒸着鏡面タイプのテラヘルツ波反射損測定(地上対照試験)



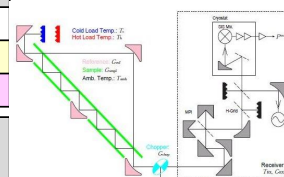
蒸着鏡面タイプに生じたクラックの例(太線)

- ・直線偏波が平面で反射する場合, TE波(Parallel)の反射損はTM波(Perpendicular)より小さい(理論)
- ・熱サイクルストレスにより2015年度以降は偏波による**反射損失の差が逆転**し, フライト品の飛行後と同じ傾向になる。
- ・試料を90度回転させた状態で反射率を測定したところ, クラックの方向と偏波の方向を一致させると, 反射損失が小さくなることを確認 → **クラック増の影響**



※蒸着鏡面タイプに直線状の傷を追加

測定時期	反射損失 [%] (Pol: Perpendicular)	反射損失 [%] (Pol: Parallel)	備考
2014	0.344±0.138	0.609±0.090	製造後(AT試験)
2015	0.780±0.158	0.376±0.119	放射線, β角変動熱ストレス
2016	0.685±0.258	0.393±0.133	α角変動熱ストレス
測定時期	反射損失 [%] (Pol: Perpendicular)	反射損失 [%] (Pol: Parallel)	備考
2016(90度)	0.251±0.175	0.794±0.254	試料90度回転
2017	2.772±0.299	0.518±0.375	※直線状の傷を付加
2017(90度)	0.758±0.527	4.661±0.406	試料90度回転 ※直線状の傷を付加



反射率測定系

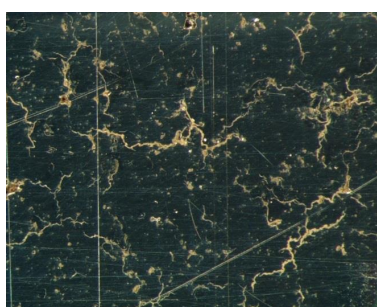
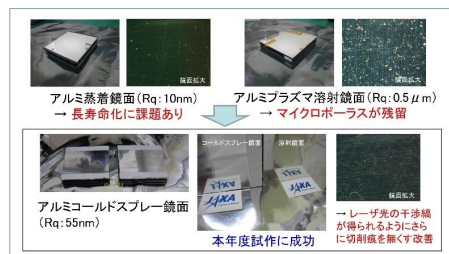
22



## 飛行後の プラズマ溶射鏡面の変化

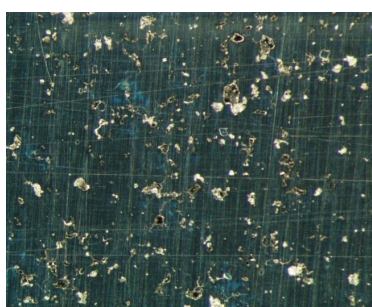


2017/6/6 14:00  
サンプルホルダを分解して実験試料を取り外し、  
反射鏡面を顕微鏡撮影した



宇宙環境曝露後のプラズマ溶射鏡の鏡面拡大

飛行後



地上保管していたプラズマ溶射鏡の鏡面拡大

地上保管

・マイクロボラスの間に繋ぐ様に多くのヒビが生じている(全面)そのため、肉眼では鏡面が曇った様に変化した  
(地上対照試験では溶射タイプのミラーのAO照射や紫外線照射を省略していたため、同一事象は未確認)  
・溶射されたアルミが黄色に変色  
・最高温度: 表90°C, 裏50°C  
・他の試料は地上対照試験と肉眼では大差なし

→ 原因を明らかにするためにプラズマ溶射鏡(とコールドスプレー鏡)のAO照射や紫外線照射試験を実施中。

23



## まとめ

- ✓ 国際宇宙ステーション日本実験棟「きぼう」の船外にて、ExHAMを使った軽量かつ高精度なCFRP鏡の長期宇宙曝露実験(CAGOME)を実施した。宇宙環境曝露期間485日と882日の試料を計画通り2回に分けて地上回収することに成功し、現在、2回目の回収試料の検査を実施している。1回目の回収試料に対して飛行前と同じ検査を実施した結果、目標としていた仕様を逸脱するような劣化は見られなかった。
- ✓ 飛行後の溶射タイプ試料の反射鏡面に特徴的な劣化(アルミ層の微細なひび割れ)が確認された。何らかの力学的な要因が寄与した可能性があるため、実施を省略していた地上対照試験での原子状酸素照射や紫外線照射を実施してその原因を調査中である。
- ✓ 冷却時に発生した蒸着鏡面タイプのアルミ蒸着層の長いクラック(表皮最外層繊維方向)については、予想通り、飛行後や宇宙環境曝露後にクラックの伸展は見られなかった。熱サイクルストレスにより蒸着鏡面タイプのアルミ蒸着層に生じた同じく方向性がある小さなクラックの発生は地上対照試験でも確認され、それらの影響による反射率の変化(反射損と偏波の関係が平板に対する反射率の理論値と合わなくなる傾向)も確認された。

24