

P-133 コールドスプレー鏡面を持つ高精度CFRP鏡の試作結果

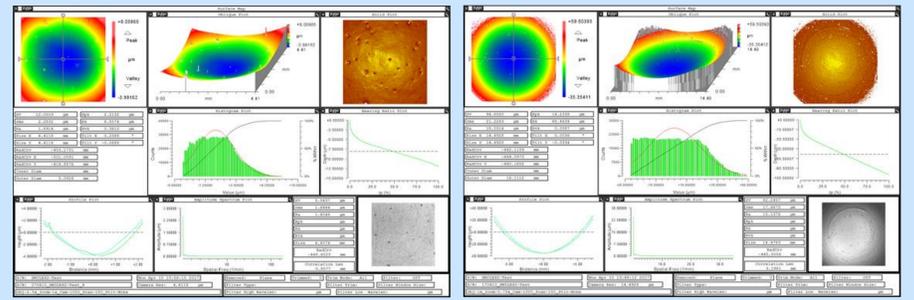
西堀俊幸, 神谷友裕(JAXA), 落合啓(NICT), 宮崎謙一(三協製作所), 中村和行(テクノソルバ),
石田良平, 真鍋武嗣(大阪府立大学)

1. はじめに

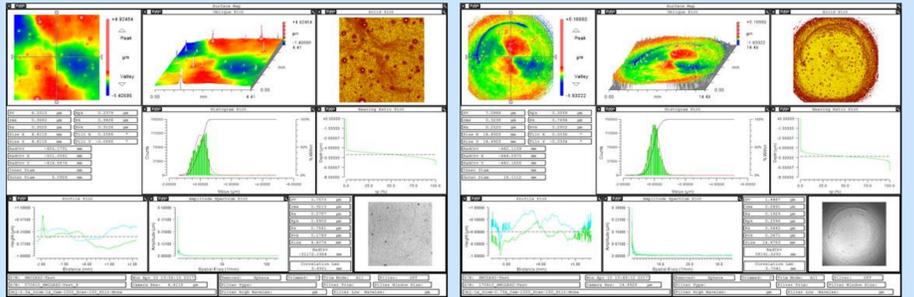
小型科学衛星の搭載を前提にしてテラヘルツ帯の超伝導受信機を持つSMILES-2の検討を進めている。SMILES-2のアンテナ部の要素試作研究として、テラヘルツ帯を観測するために必要な高精度かつ低熱歪みな特性と衛星搭載に必要な軽量化を兼ね備えたオールCFRP製高精度主鏡の部分試作を行い、熱変形の測定結果と解析結果の比較を行ったので報告する。また、主鏡と副鏡を支持する低熱歪みなオールCFRP製支持構造の試作に向けた検討も開始したので報告する。

2. THz帯観測に必要なアンテナ開発課題

640GHz帯の超伝導受信機を用いた高層大気のリム放射観測を成功させたSMILESは、オールアルミニウム合金(7075-T7351)を用いて製造し、熱的相似変形則をアンテナ構造に適用させた400mm楕円開口のオフセット・カセグレンアンテナ(鏡面精度: $20\mu\text{m r.m.s}$ 以下)を宇宙機搭載サブミリ波用として実用化させた。一方、SMILES-2のアンテナ系は、軌道上の構造安全要求を最優先とした国際宇宙ステーション搭載用のSMILESのアンテナ設計とは異なり、質量要求が厳しい小型科学衛星バスを使うために軽量化と長期形状安定性が課題となる。さらに、2THzも観測帯域に入れるため、従来より高精度($5\mu\text{m r.m.s}$)な口径80cmクラスのアンテナ鏡面を実現することが必要である。



【鏡面形状 (球面鏡中心4.4mm範囲(左図), 14.5mm範囲(右図))
(曲率半径: 442mm (設計450mm))



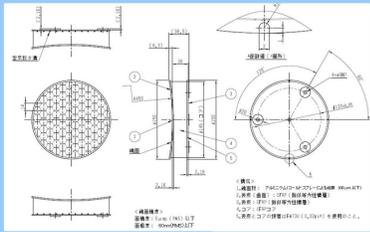
【理想球面からの誤差 (球面鏡中心4.4mm範囲(左図), 14.5mm範囲(右図))
(PV: $7.1\mu\text{m}$, Rq: $0.32\mu\text{m r.m.s}$)

光干渉式表面粗さ計(レーザ顕微鏡)による鏡面撮影結果

部位	設計結果	備考
反射面	構成: アルミニウムのCS成膜(厚さ: $200\mu\text{m}$) 保護膜: 無し、曲率半径: 450mm、直径: 145mm	切削と研磨による仕上げ
スキン	材料: YSH60A-30S/NM-31(UDプリプレグ) 積層: $[[0/45/-45/90/90/-45/45/0] \times 3]$ 、24ply 厚さ: 2.16mm	裏表対称硬化時ポストキュア無し
接着層	フィルム状接着剤 (Cytec社 FM73U) 厚さ: 0.2mm 以下	表皮とコアの接着
コア	UDプリプレグによりハニカムコアを集成 積層: $[[0/90/0]$ 、3ply、0.3mm 材料: 0度 YSH60A-30S、90度 T700S-12K	
パネル厚さ	25.68~31.5mm	
質量特性	200g (TBD)	



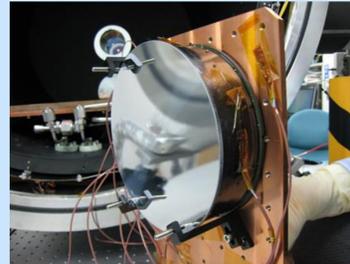
プラズマ溶射カーボン鏡の宇宙曝露実験用試料 (2014年度製作、フライト中)



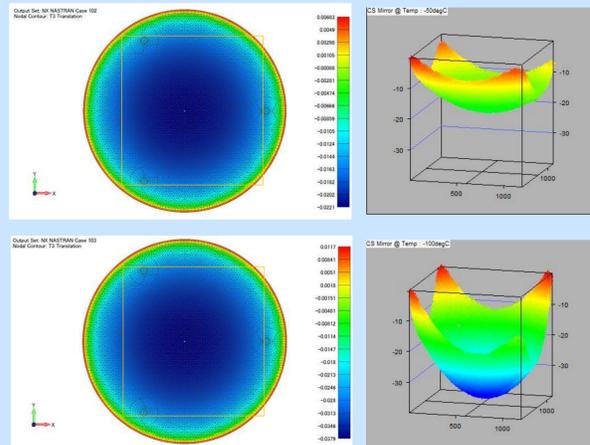
CS鏡面を持つ高精度CFRP鏡 (2016年度製作)



試作したコールドスプレー(CS)鏡面を持つ高精度CFRP球面鏡とプラズマ溶射鏡面を持つカーボン鏡(CAGOME実験用フライト品)



【熱変形の撮影】
・米国Zygo社製のレーザ干渉計システムと透過型球面原器を用いて、 -50°C と -100°C における高精度CFRP球面鏡の変位を撮影した



【熱変形の予測と撮影結果】
・左上図: -50°C における鏡面変形
・左下図: -100°C における鏡面変形
※ 橙色の四角は撮像範囲を示す

	最大変位 [μm] @ -50°C	最大変位 [μm] @ -100°C
NASTRAN (予測)	-22.1	-37.9
実測値	-20.1	-36.8
予測誤差(%)	2.0(9%)	1.1(2.9%)

レーザ干渉計システムによる冷却時の鏡面撮影結果

3. THz用高精度CFRPパネル鏡の試作

JAXA研究開発部門では、ピッチ系炭素繊維複合材の材料物性(高熱伝導、低熱歪み)を活かし、オールCFRP製の軽量ハニカムサンドイッチパネルを主構造とするゼロ熱膨張化設計($10^{-7}/\text{K}$ 以下)を施したCFRP反射鏡パネルの試作研究と国際宇宙ステーションを使ったCFRP鏡の長期宇宙曝露実験(CAGOME)を実施している^[1]。

高精度な面を樹脂に転写するレプリカ法によるCFRP高精度鏡は、反射面をアルミニウムの真空蒸着により形成するため、低温の熱サイクルを加えると表皮のトランスバースクラックの影響を受けて薄い蒸着層に方向性があるクラックを誘発させることがある。そこで、CFRP積層板上のアルミニウム反射層をコールドスプレー($100\text{--}200\mu\text{m}$ 厚)により真空蒸着(約 $1\mu\text{m}$ 厚)より厚く、かつ機械的に強固な反射面を成膜し、アルミ成膜面の機械切削による球面鏡を試作した結果、鏡面精度約 $2\sim 7\mu\text{m r.m.s}$ を達成することに成功した。

環境温度による面的な熱変形を確認し、NASTRANによる熱変形予測の精度を検証することが本研究の目的であるが、接触式の3次元測定や電波ホログラフィを熱試験中に実施することは困難である。そこで、鏡面の変形を米国Zygo社製のレーザ干渉計システムと透過型球面原器を用いて撮影可能にするため、機械切削したコールドスプレー成膜鏡面^[1]を更にフェルトボブハンドラッピング加工した。製作工程中と製造後に鏡面粗さをレーザ顕微鏡で測定した結果、約 $20\text{--}300\text{nm}$ (Rq)の粗さであることを確認した。

4. 熱真空晒し試験による鏡面変形の撮影

コールドスプレー(CS)鏡面を持つ高精度CFRP球面鏡の低温環境時の反射面撮像をJAXAの研開部門第二研究ユニットが所有するレーザ干渉計システム(Zygo DynaFiz)で実測した。試験は2017年4月10日~14日に筑波宇宙センターで実施した。

CFRP球面鏡のセットアップの様子を上図に示す。CFRP球面鏡は銅製の冷却プレート(治具)に取り付け、3点のみスプリング力で冷却プレート側に押さえつけられている。レーザ干渉計には4インチ径のZygo製の透過型球面原器(F:1.5, P/N 6024-0430-02)を取り付けて球面波を発生させ、熱真空チャンバーのガラス窓(口径100mm)を通して、ミラーにレーザ光を入射させる。ミラーから反射したレーザ光は透過型球面原器の球面波と干渉し干渉縞を発生させ、その映像をレーザ干渉計システムにて撮影した。レーザ干渉計による鏡面熱変位測定の温度条件は常温(約 25°C)、 -50°C 、 -100°C とした。NASTRANによる変形解析と本試験により確認された変形量の最大値を表に示す。実測と予測を比較すると、変形量は僅かに実測の方が少なく、予測(最大)変位量($-22\mu\text{m}$ (MAX)@ -50°C 、 $-38\mu\text{m}$ (MAX)@ -100°C)に対し、実測は $1\text{--}2\mu\text{m}$ の違いになっており、解析予測誤差も10%以下であることが確認出来た。

5. 今年度の予定

現在、開口径250mmの高精度CFRPデュアルリフレクタ(反射面のメタライズドは実施しない)のオールCFRP低熱歪み支持構造を試作中である。各部に取り付けたスリット付き光学ターゲットとレーザコリメータを用いて、支持構造の熱歪みの検証を年度内に実施する予定である。



現在試作中の熱的寸法安定なテラヘルツ鏡面支持構造

[1] 西堀俊幸, 他: "コールドスプレー鏡面を持つ高精度CFRP鏡の部分試作", 第17回宇宙科学シンポジウム, JAXA宇宙科学研究所, P-080, January 5-6, 2017