

P-080 コールドスプレー鏡面を持つ高精度CFRP鏡の部分試作

西堀俊幸, 神谷友裕, 水谷忠均(JAXA), 落合啓(NICT), 佐野貴広, 石田良平, 真鍋武嗣, 前澤裕之(大阪府立大学),
宮崎謙一(三協製作所), 中村和行(テクノソルバ), 原憲一(日本グラフィファイバー),
松本隆之(JX日鉱日石エネルギー), 塩谷雅人(京都大学)

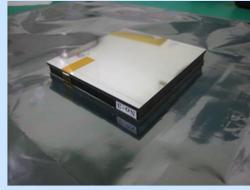
1. はじめに

小型科学衛星等へ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ではアルミニウム合金製であったアンテナをSMILES-2ではCFRPを用いて軽量化させるとともに、クラックが起こりにくい長期安定な反射鏡面を実現させる。準備研究として、CFRPの積層板上にアルミニウムの反射層をコールドスプレー法を用いて成膜し、機械切削した後に鏡面研磨することで、光学的な鏡面変形の検証技術が使える60nm以下の面粗さを持つ鏡面の製作見通しが得られたので報告する。

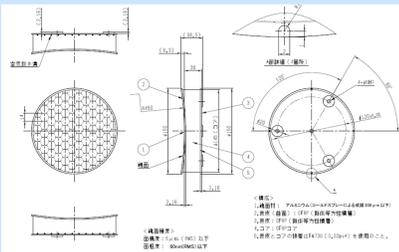
2. THz帯観測に必要なアンテナ開発課題

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 μm 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。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 μm r.m.s)な口径1mクラスのアンテナ鏡面を実現することが必要である。

部位	設計結果	備考
反射面	構成: アルミニウムのコールドスプレー膜(厚さ: 200 μm) 保護膜: 無し, 曲率半径: 450mm, 直径: 145mm	
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) × 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)



曲率を持つプラズマ溶射カーボン鏡
(2015年度製作、溶射後)

試作中のコールドスプレー鏡面を持つCFRP鏡案と
昨年度試作したプラズマ溶射鏡面を持つカーボン鏡

3. 宇宙用高精度CFRPパネル鏡の研究状況

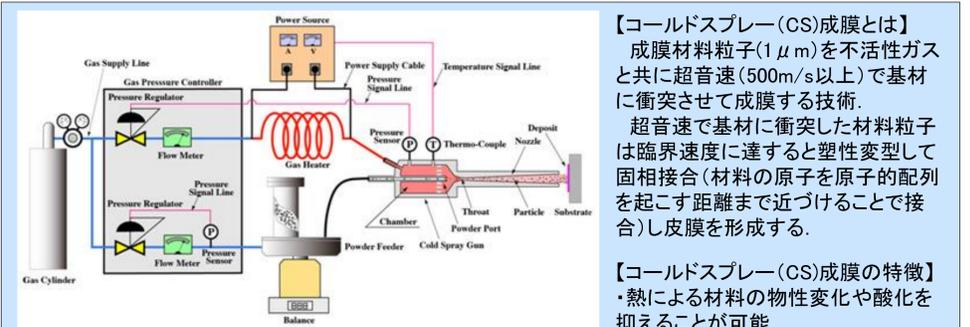
JAXA研究開発部門では、ピッチ系炭素繊維複合材の材料物性(高熱伝導, 低熱歪み)を活かし、オールCFRP製の軽量ハニカムサンドイッチパネルを主構造とするゼロ熱膨張化設計($10^{-7}/\text{K}$ 以下)を施したCFRP反射鏡パネルの試作研究と国際宇宙ステーションを使ったCFRP鏡の長期宇宙曝露実験を実施している^[1]。

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、アルミニウムの反射面を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。そこで、昨年度の研究では、CFRP積層板上のアルミニウム反射層をプラズマ溶射(100-200 μm 厚)により形成して、蒸着(約1 μm 厚)より厚く、かつ機械的に強固な反射面を成膜して機械切削と研磨に耐えうる鏡面(球面鏡)を試作し、鏡面精度 5 μm r.m.s を達成した。

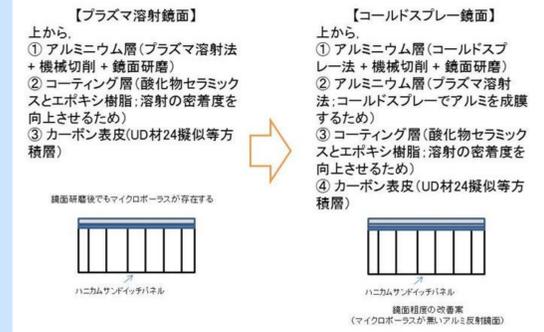
環境温度による面的な熱変形を確認し、NASTRANによる熱変形予測の精度を検証することが本研究の目的であるが、接触式の3次元測定や電波ホログラフィを熱試験中に実施することは困難である。そこで、鏡面の変形を米国Zygo社製のレーザ干渉計システムと透過型球面原器を用いて撮影可能にするため、鏡面の面粗さを60nm(He-Neレーザ波長の1/10)に改善する方法を検討した。

4. コールドスプレーによる反射鏡面の成膜

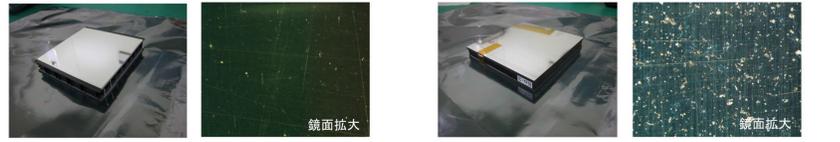
コールドスプレー(CS)は超音速で成膜用の材料粒子を基材に衝突させ、粒子が塑性変型して固層接合することで被膜を作る新しい技術である。プラズマ溶射では半溶融した材料粒子が基材に衝突してラメラ構造を作りながら積層されるため、皮膜中に小さな空隙(マイクロポーラス)が残留する。そのため、研磨による粗さ改善には限界(1 μm r.m.s)があった。



コールドスプレーによる金属の成膜技術(プラズマ技術工業)



コールドスプレーによる鏡面の成膜

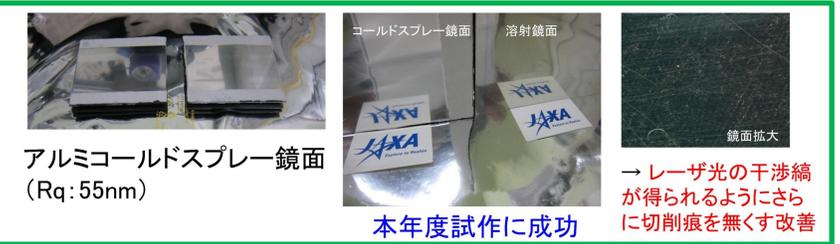


アルミ蒸着鏡面(Rq: 10nm)

アルミプラズマ溶射鏡面(Rq: 0.5 μm)

→ 長寿命化に課題あり

→ マイクロポーラスが残留



アルミコールドスプレー鏡面(Rq: 55nm)

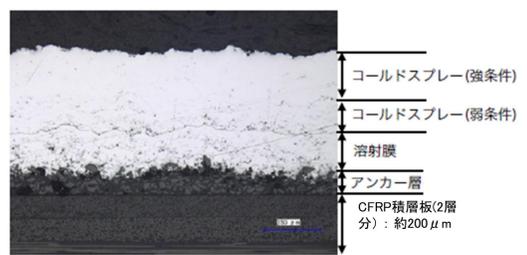
コールドスプレー鏡面

溶射鏡面

鏡面拡大

本年度試作に成功

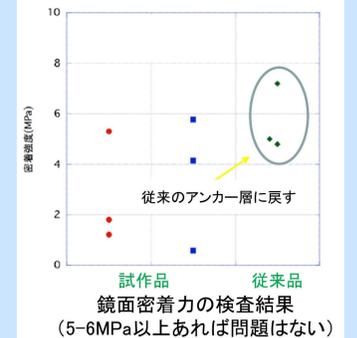
→ レーザ光の干渉縞
が得られるようにさらに
切削痕を無くす改善



アルミコールドスプレー鏡面部断面
(スプレー後, 機械切削・研磨前)

成膜した反射面の断面観察例

コールドスプレー鏡面を持つCFRP鏡の試作結果



成膜した反射面の密着度

一方、CSによる成膜は緻密な皮膜を形成することが出来、さらに酸化や物性の変化も抑制することが出来る。ところが、CFRPの積層板は樹脂であるため軟らかく、基材がブラスト化されるだけでCSによる成膜は従来不可能だと言われていた。そこで、まず酸化物セラミックスとエポキシ樹脂によるアンカー層の上にアルミニウムをプラズマ溶射し、溶射アルミの皮膜をアンカーとしてCSでさらにアルミ層を成膜する工程を確立させた。

プラズマ溶射で形成したアルミ皮膜が薄いため、超音速の粒子衝突による基材の剥離が懸念された。そこで、CSはスプレー条件を2通り(作動ガスを窒素で低圧, ヘリウムで高圧)として成膜を行うことで、CSによる緻密なアルミ層を成膜することに成功した。成膜したアルミ層の密着力を確認した結果、約6MPaが得られ、昨年度試作したプラズマ溶射と同等の密着力が確認された。また、CSによる成膜後に5軸マシニングセンタを用いてボールエンドミルにより表面の切削を実施した結果、部分的に55nmの面粗度を実現することに成功した。

5. まとめと今後の予定

本試作と同一な工程(研磨工程を追加)によるコールドスプレー球面鏡を現在試作中である。今後は試作した球面鏡を用いて、低温・高温環境時における鏡面の変形をレーザ干渉計で実測し、熱変形解析との比較を行う予定である。

[1] 西堀俊幸, 他: "宇宙ステーション「きぼう」船外簡易取付機構(ExHAM)を用いたCFRP製軽量高精度鏡の長期宇宙曝露実験(CAGOME)準備の状況", 第11回宇宙環境シンポジウム, 大阪府立大学 I-site なんば, December 10-11, 2014.