

次世代 X 線望遠鏡搭載を目指した CFRP ミラーフォイルの開発

第15回宇宙科学シンポジウム 2015.01.06-07

杉田聡司, 栗木久光, 吉岡賢哉, 野村美月, 三田朋希, 黄木景二 (愛媛大学), 國枝秀世, 松本浩典, 宮澤拓也, 岩瀬敏博, 前島将人, 島 直究, 石川隆司 (名古屋大学), 浜田高嘉, 石田直樹 (玉川エンジニアリング), 秋山浩庸, 岸本和昭 (MHI), 宇都宮真, 神谷友祐 (JAXA)

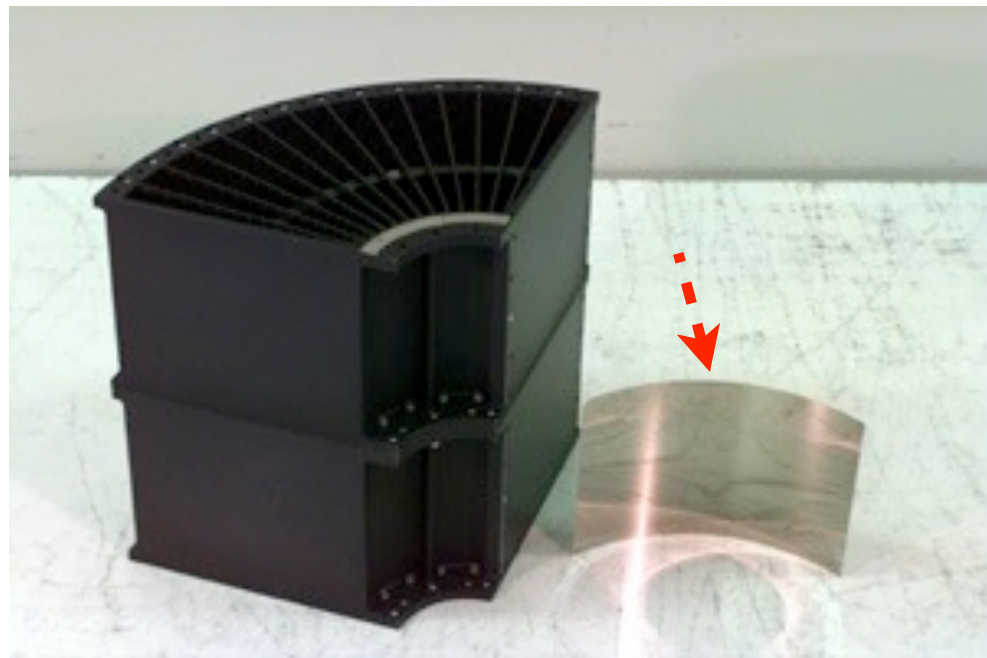
CFRP 基板を用いたX線ミラー

Carbon Fiber Reinforced Plastics: CFRP のメリット

軽量・高弾性(比弾性率が AI の7 倍)、低熱膨張係数かつ成形の自由度があるため、従来の AI 基板を用いる場合より軽量高精度のミラー製作が可能

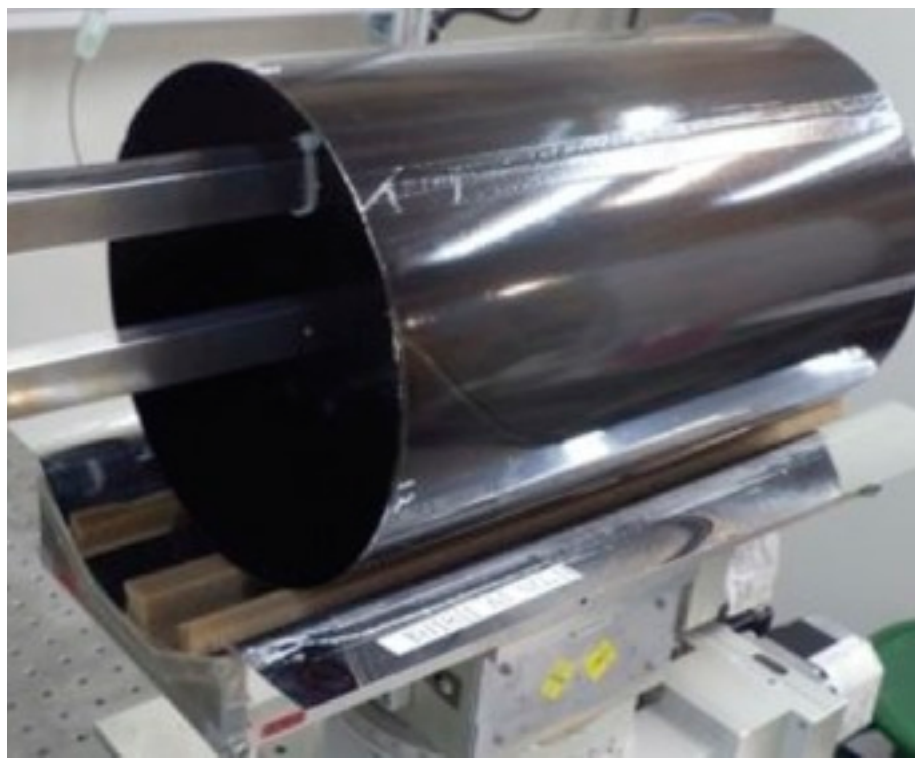
従来の多重薄板型ミラー基板

- 分割周
- 2段独立
- 円錐近似



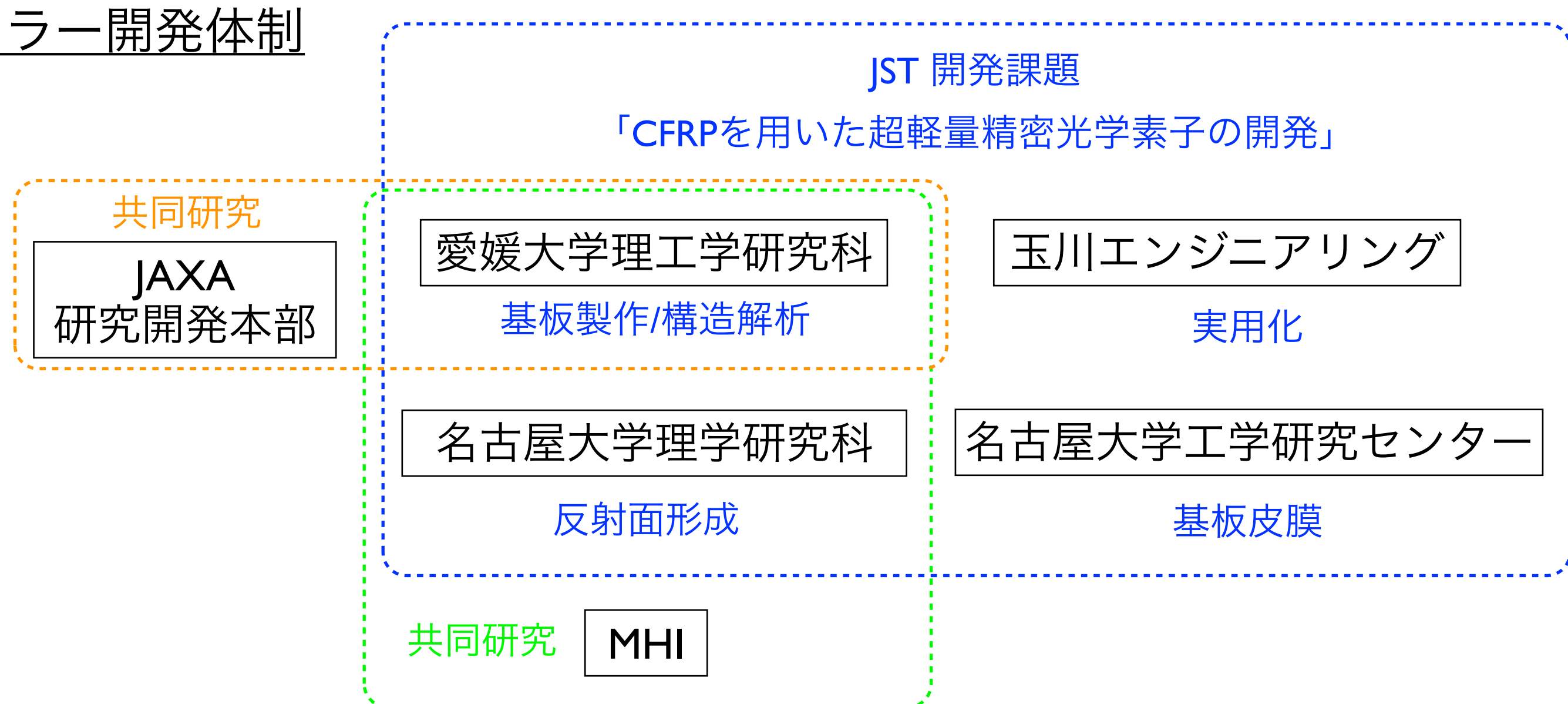
CFRP 基板

- 全周
- 2段一体
- Wolter I 型



→ CFRP 基板を用いることで個々のミラーの位置決め誤差による像の広がり(HXTでは ~1 分角)が原理的には無くなるなど結像性能の向上が期待できる

CFRP ミラー開発体制



CFRP のデメリット

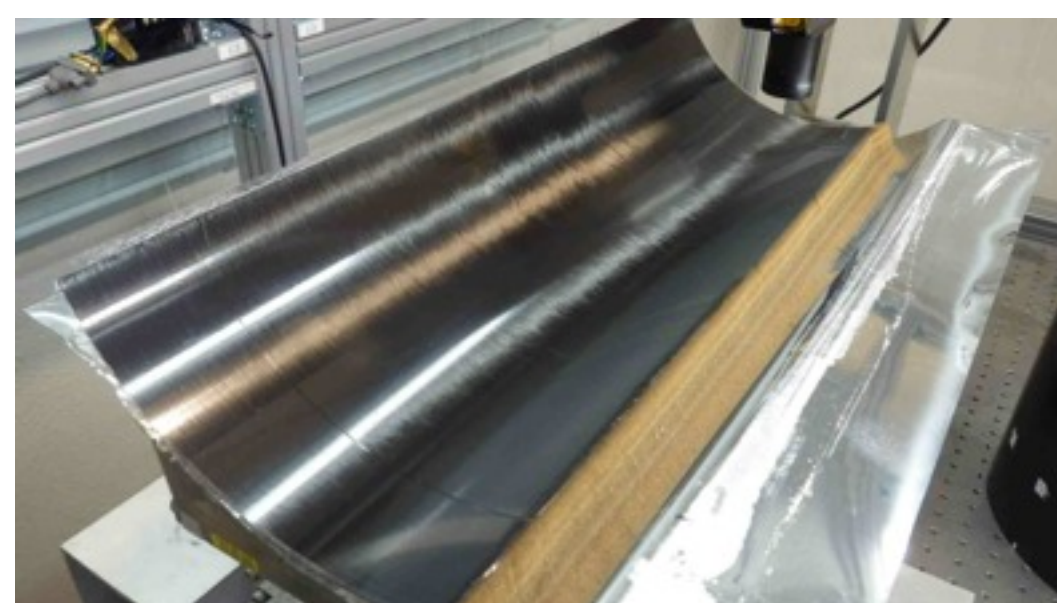
- 炭素繊維構造の表出(プリントスルー)
- 吸湿・乾燥等による長期形状変化(エージング)

ミラー製作と平行してプリントスルー・経年変化の影響の調査及びに低減の方法を研究

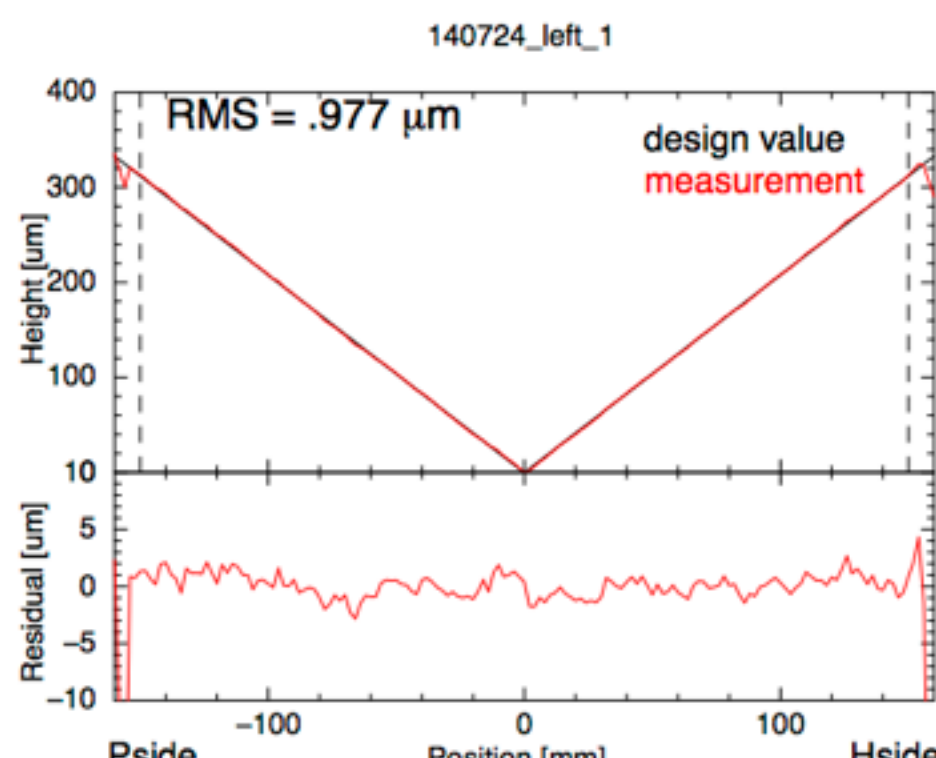
ミラー開発状況

CFRP 基板製作

- 炭素繊維に樹脂を含浸させたシート(プリプレグ)を複数枚積層し加熱硬化させることで基板を成形する
- プリントスルー・経年変化等の試験用に平板 100x100 mm² を製作
- ミラー用基板として Φ120, 200, 300 mm の 1/4, 全周基板を製作。母線形状でベスト 1 μm、歩留まり ~4 μm の精度を実現

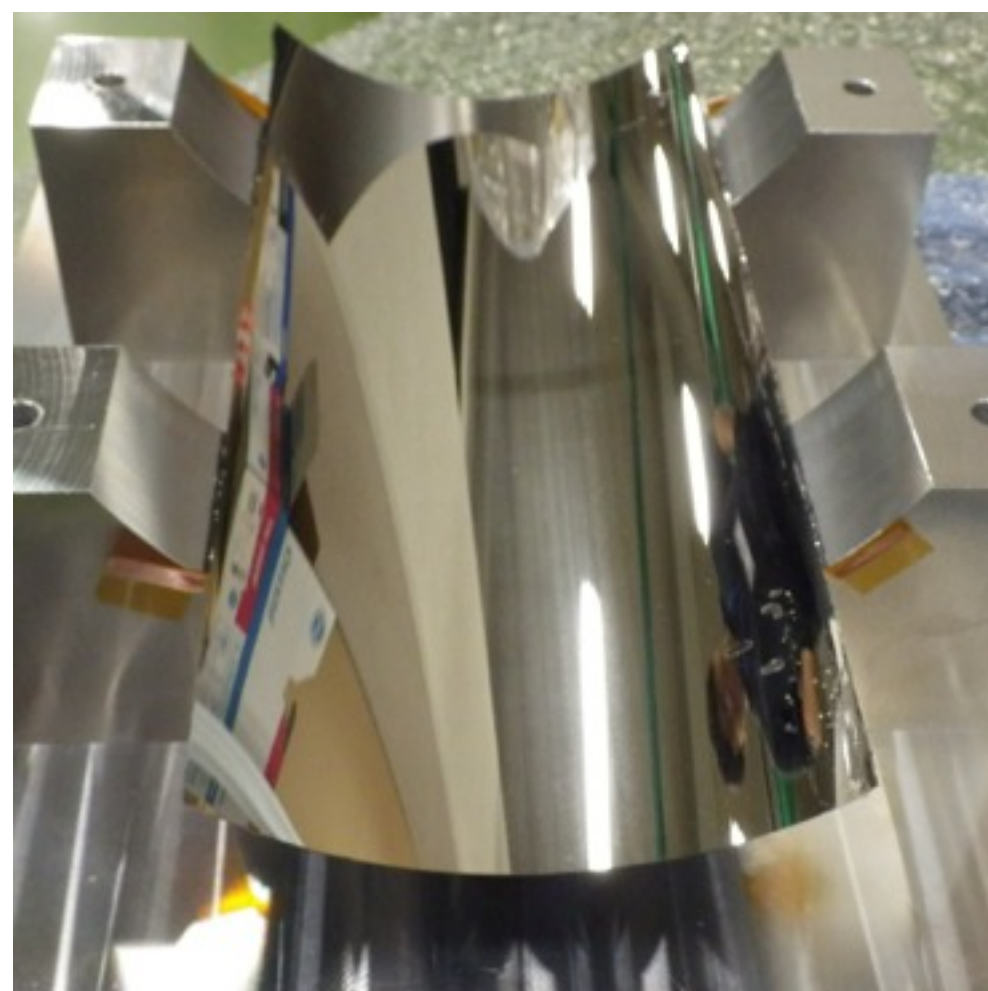


Φ200mm 1/4 二段一体 CFRP 基板



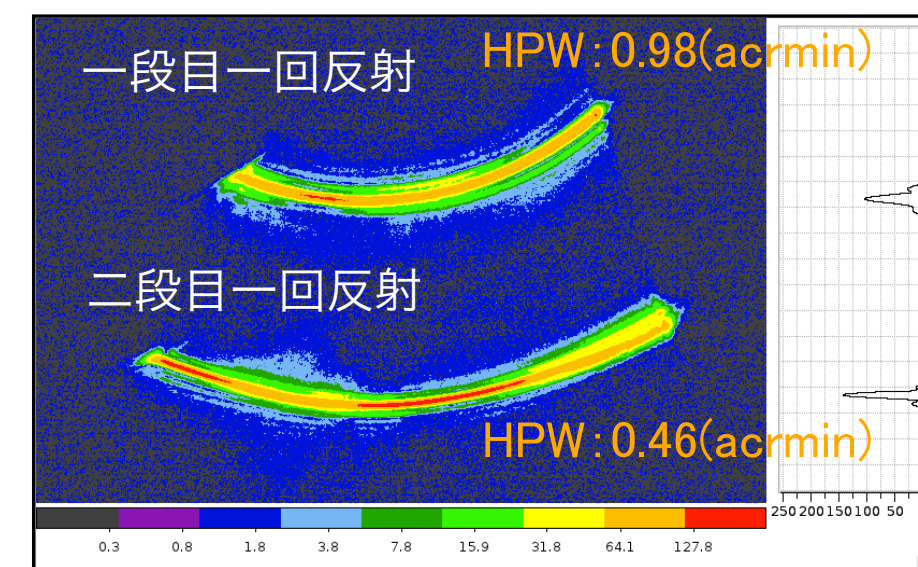
Φ200mm 1/4周基板 ID 140724 母線形状測定結果

反射鏡面のレプリカ



Φ200mm 1/4 二段一体レプリカミラー (サンプル ID 140122a)

- ASTRO-H HXT のミラーと同様のフォイルレプリカ法で製作
- Φ200 mm 1/4 周基板に Pt 単層膜をレプリカする
 - 転写母型として二段一体型ガラスと Schott 社円筒ガラスマンドレルを使用
- 可視平行光による反射像の Half Power Width を無限遠焦点光学系(デジタルカメラ)で評価



ID 141117 中央部の反射光をデジタルカメラで取得

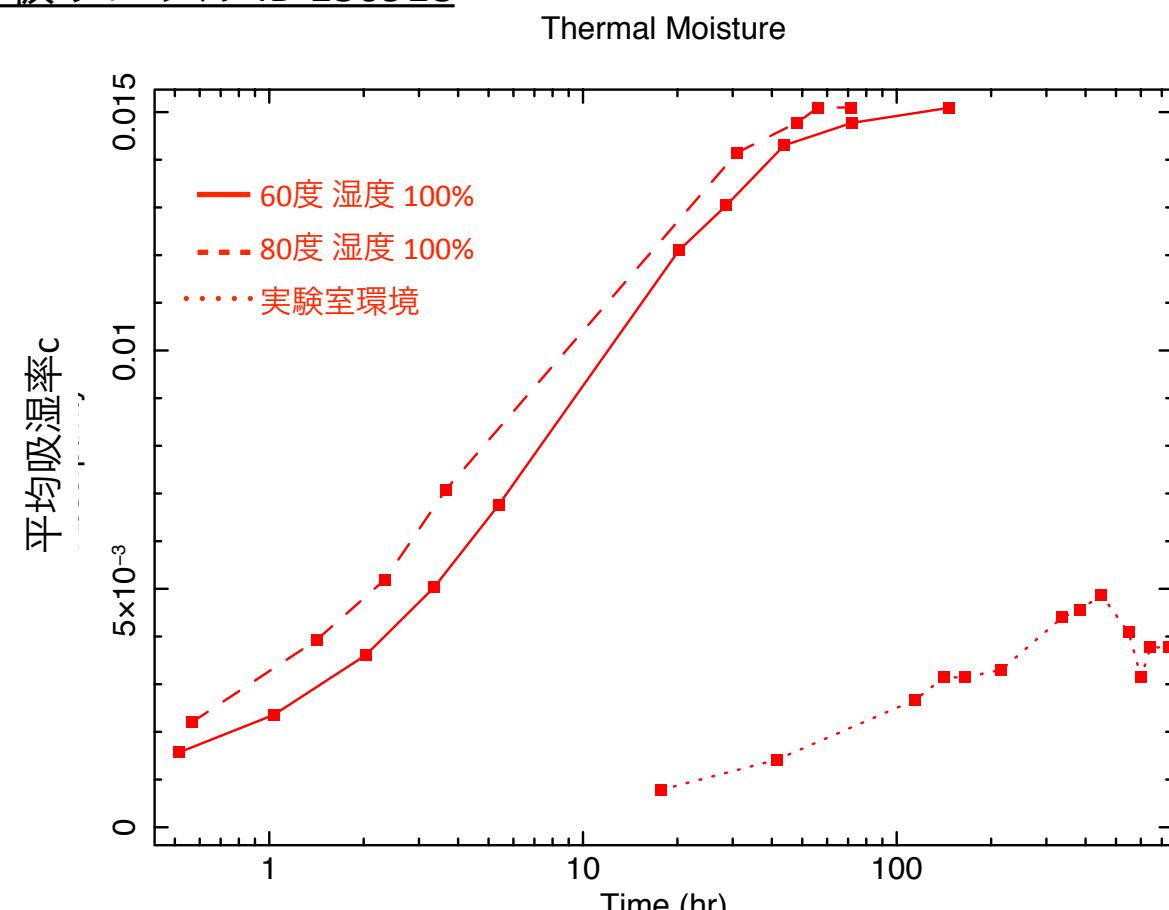
吸湿試験

膨潤試験

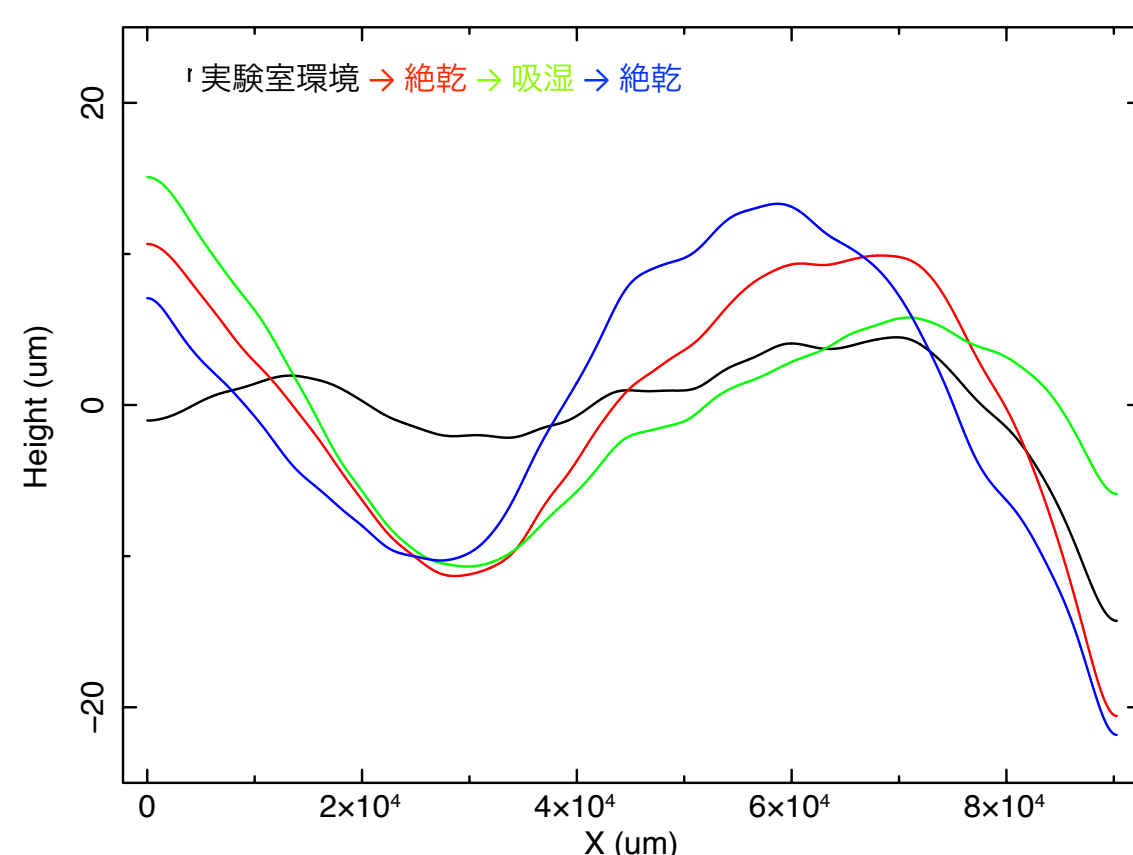
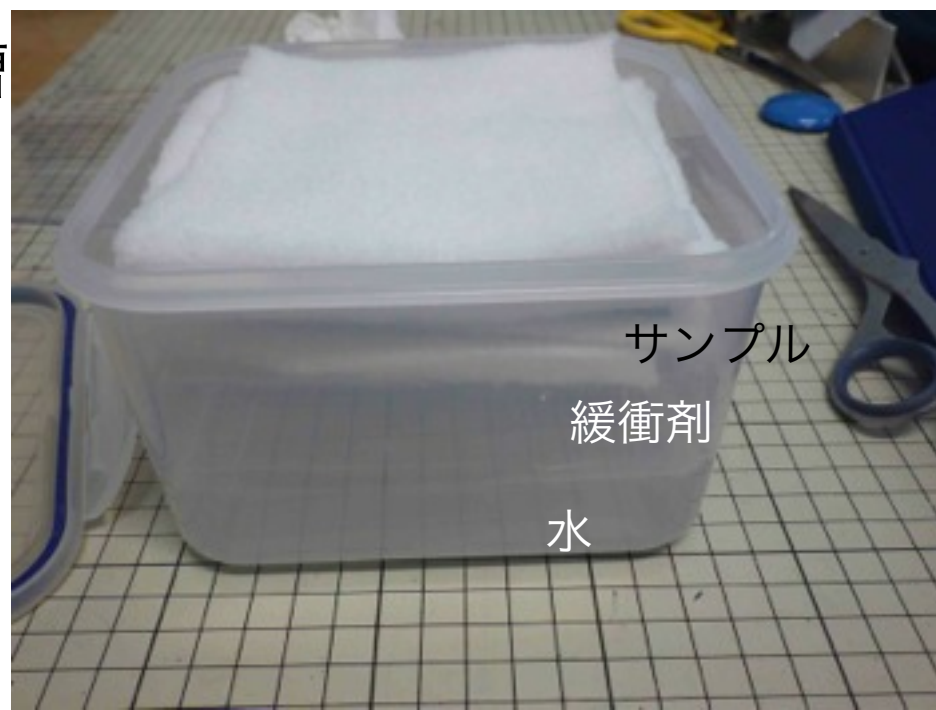
CFRP は高分子でできているため乾燥・吸湿を起こしこれが形状悪化の要因となる。CFRP 平板を用いて吸湿による膨潤・変形の影響を調べるため、吸湿加速試験を行った。

- 試験サンプル: 100x100 mm ピッチ系プリプレグ 8 枚積層(400 μm厚)
- 水を張った密封容器内にサンプルを水に接触させず置き恒温槽加温
- 定期的に取りだし質量を測定
- 絶乾時と吸湿時に表面形状を測定
- 上記条件で温度を変えて吸湿速度を調査
- 平均吸湿率 (c = (M-M₀)/M₀; M₀=試験前の質量) で比較

平板サンプル ID 130918



平均吸湿率の吸湿環境依存性



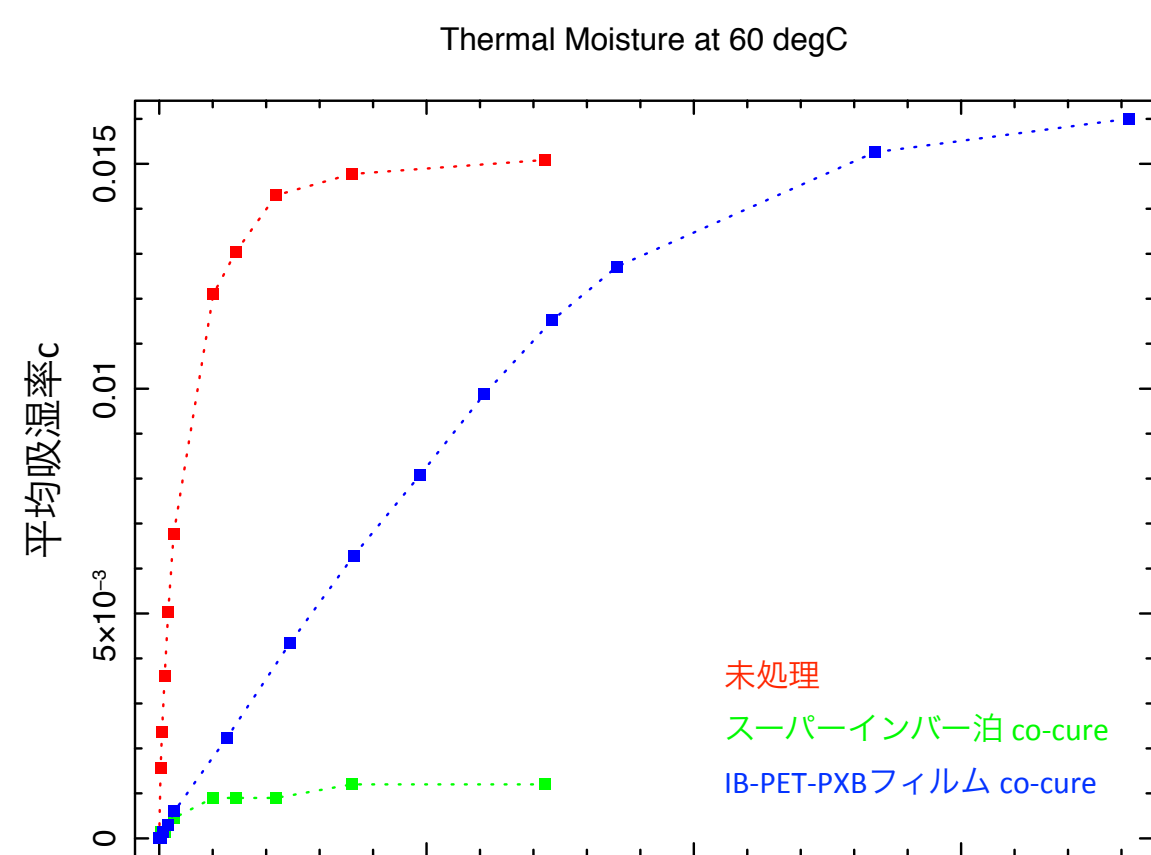
乾燥吸湿試験前後の表面形状の変化

- 平板においては 60度 100% の吸湿で 1.5% の質量増加、5% の形状変形が発生した
- 吸湿の時定数を比較すると、60度 100% 環境では実験室環境に保管していた場合の 100 倍程度の加速試験となる

被膜による吸湿の低減

乾燥吸湿を低減させるため基板表面に薄膜(スーパーインバー箔 20 μm、IB-PET-PXBフィルム)の一体成形を行い、乾燥吸湿の加速試験を行った

- 試験サンプル: ピッチ系 50 μm 厚プリプレグ 8 枚積層
- 湿度 100 % 温度 60 °C の環境で吸湿
- 定期的に取り出し質量を測定
- IB-PET-PXBフィルム
 - 透明アルミナ蒸着フィルム
 - 厚さ 12 μm
 - 水蒸気バリア性: 0.1 g/m²・day



表面処理したサンプルでの平均吸湿率の変化

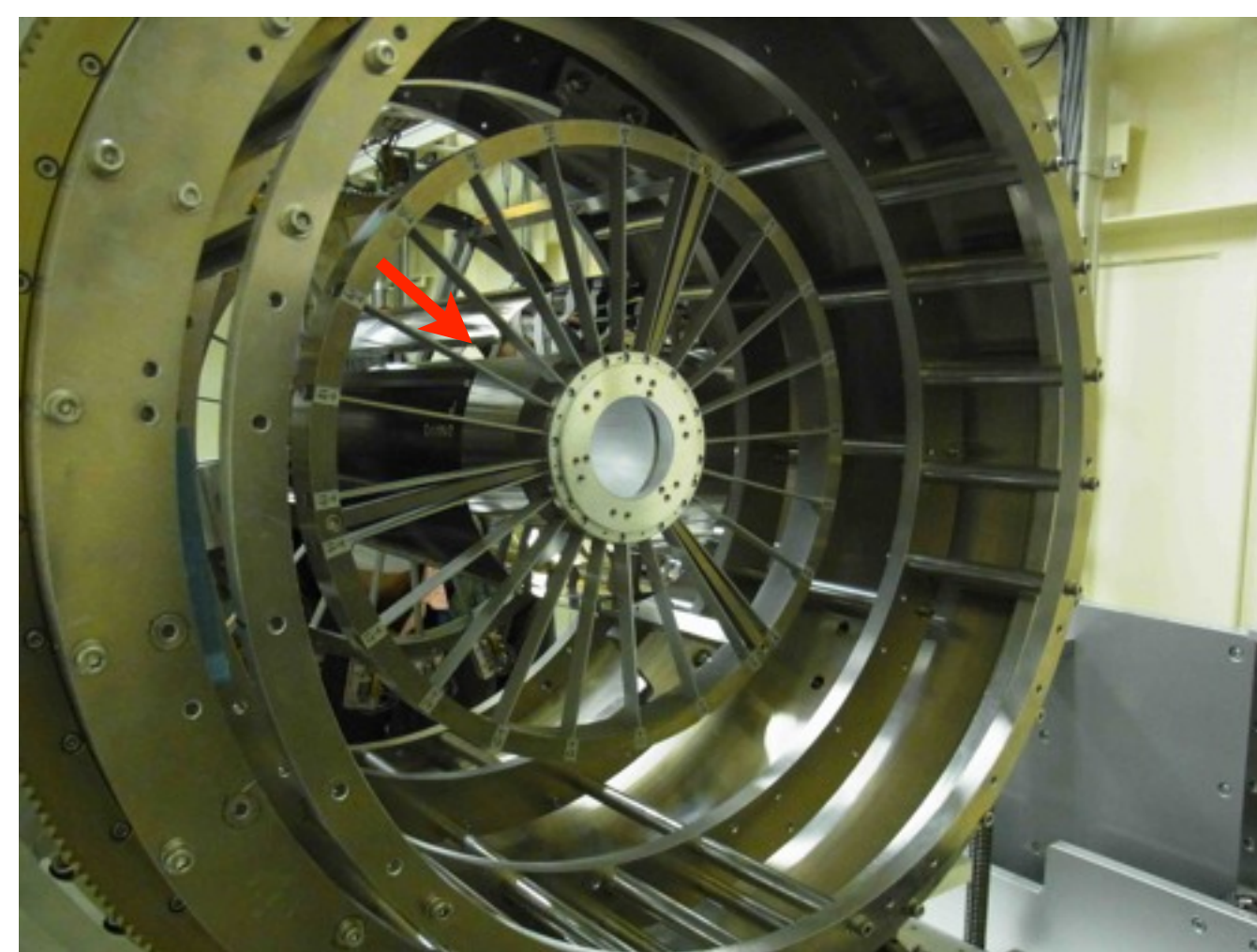
- スーパーインバー箔 では >1/100倍、IB-PET PXBフィルムでは 1/30 倍程度の吸湿の低減効果が得られた

SPring-8 実験

ミラーの結像性能を評価するために 2014/12/6-9 に SPring-8 BL20B2 で反射光測定実験を行った

セットアップ

- BL20B2
 - 215m 中尺ビームライン
 - 平行度: v1.5/h0.06 mrad
 - フラックス: 2 × 10⁷ photons⁻¹mm⁻²
- ASTRO-H HXT 用測定セットアップを流用
- 基板の積層構成等(擬似等方, [90/0]s)が異なる
- Φ200mm 1/4周ミラー 4 枚をハウジングに組み込む
 - ミラーは上下のアライメントバーで保持
- 20 keV で測定



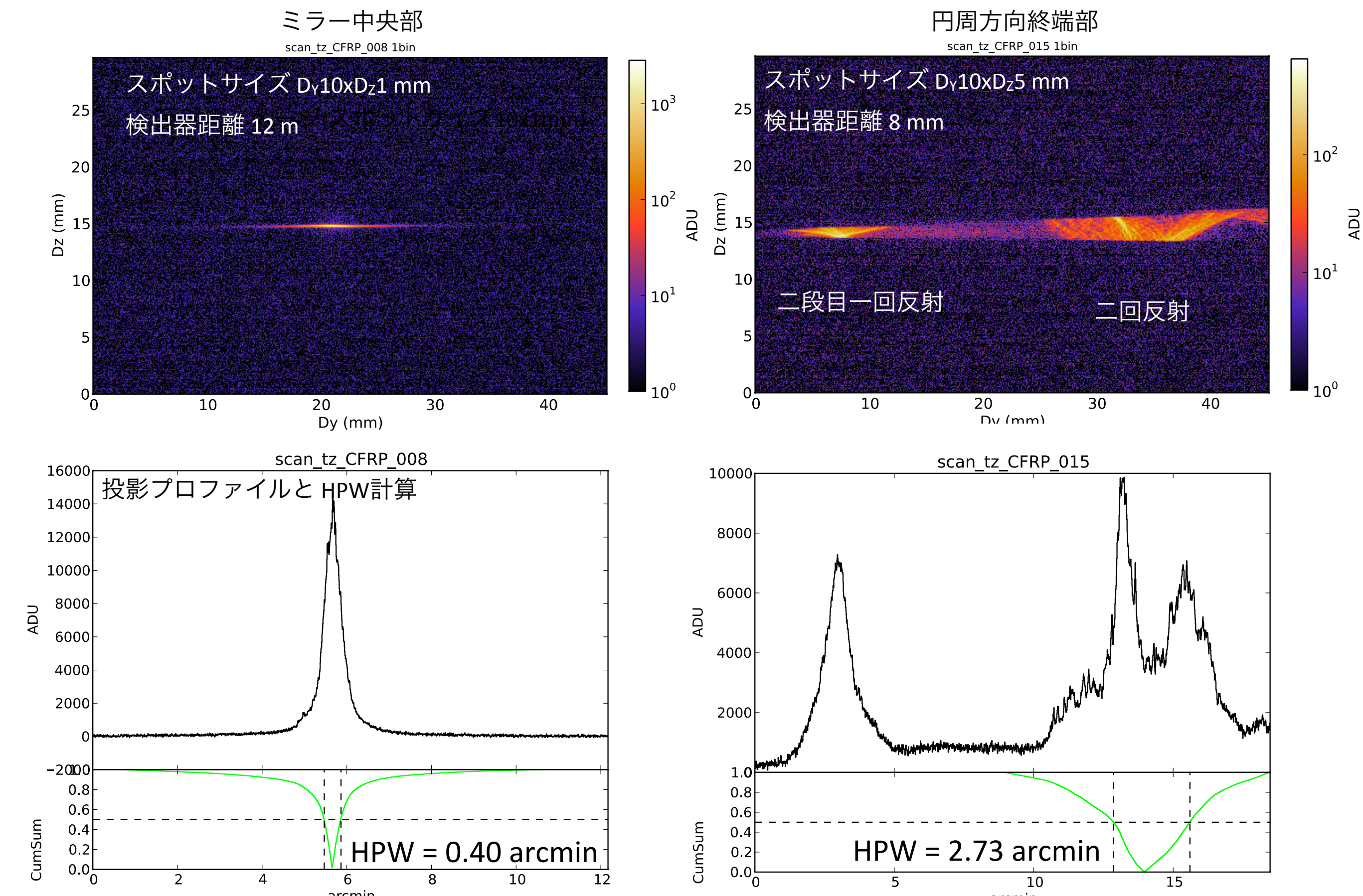
Φ200ミラー4枚を組み込んだハウジングのセットアップ

反射像測定

Preliminary

- ハウジングを回しミラー各位置のスポットイメージを取得
- イメージを投影したプロファイルから HPW (Half Power Width) を計算する

ミラー ID 141111A (擬似等方積層基板)



- 擬似等方積層基板による ID 141111A ではミラー中央部でHPW 0.4°~0.6 arcmin となった
- 終端部では 2~4 arcmin と中央部との差が大きくなった。
- 可視平行光での HPW_{op} と反射像の HPW_x には相関が見られた
 - 可視平行光によるクイックチェックでミラー性能(HPW)のおおまかな評価(選別)が可能
- レプリカ前基板の段階の可視光評価では周辺部の HPW_{op} が中央部より顕著に悪いわけではないので、HPWの悪化の原因がハウジングに納めたことによる変形がレプリカの影響が調査を行う