

小型SARアンテナの構造設計 - BBM設計, 試験評価 -

馬場満久⁽¹⁾, 石村康生⁽²⁾, 中村和行⁽³⁾, 友田孝久⁽⁴⁾, 杉本諒⁽¹⁾, 間瀬一郎⁽⁵⁾, 和田紗希⁽⁶⁾, 齋藤 宏文⁽⁷⁾

(1) JAXA研究開発部門第二研究ユニット, (2) JAXA宇宙科学研究所宇宙飛行工学研究系, (3) 株式会社テクノソルバ, (4) TOCOM, (5) 次世代宇宙システム技術研究組合, (6) 東京大学大学院, (7) JAXA宇宙科学研究所応用工学研究系

1. 概要

合成開口レーダ(以下、SAR)を用いた衛星システムの具現化により、災害時などの緊急時に、広く国民に対して即応的に情報の収集および提供が可能となる。これに必要な主要技術の確立を目指し、現在100kg級小型衛星による展開式SARアンテナシステムの開発を進めている。

図1に小型SARアンテナの構造設計における要求の一部を示す。このうちBBMモデルを使い熱ひずみ計測試験、展開再現性確認試験、モールドサーベイ試験、正弦波振動試験(機軸方向のみ)を実施した。

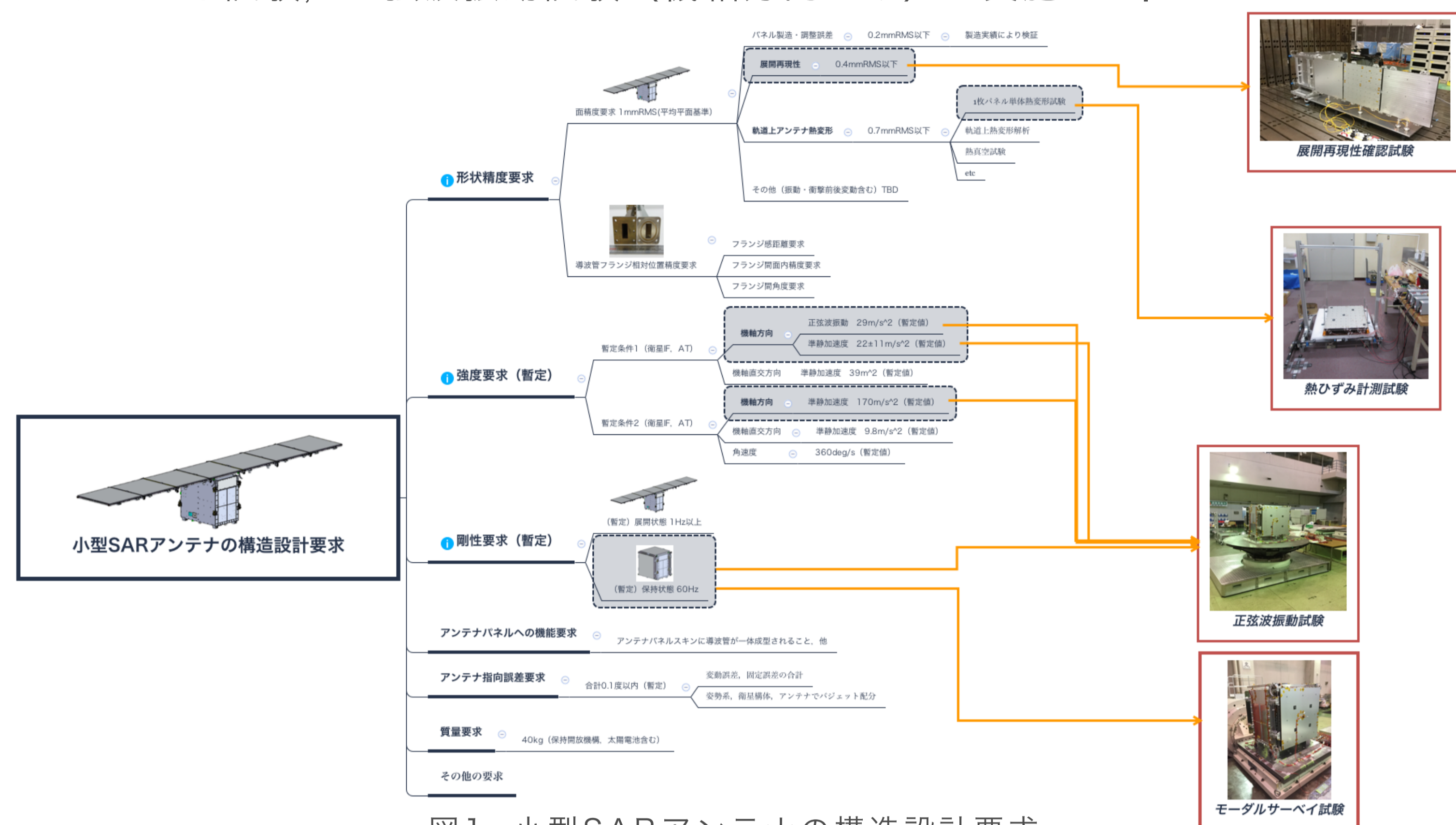


図1. 小型SARアンテナの構造設計要求

2. 熱ひずみ計測試験

昨年度までのSARアンテナBBMは、サポートパネル - CFRP板状スペーサ - アルミ製アンテナパネルの接着による構成としていた。しかし、昨年度実施した熱ひずみ試験において、CFRP板状スペーサとアンテナパネルとのCTEの差に起因する熱応力により、層間の接着が剥離した。熱変形解析を踏まえ、CFRP板状スペーサの代わりにアルミハニカムのスペーサを採用し、アンテナパネル-サポートパネル間の導波管とスペーサの配置を最適化する設計変更を行った。本熱ひずみ計測試験の目的は、熱変形解析と実際の熱変形量とを比較し、必要に応じて構造熱数学コリレーションを行うことである。

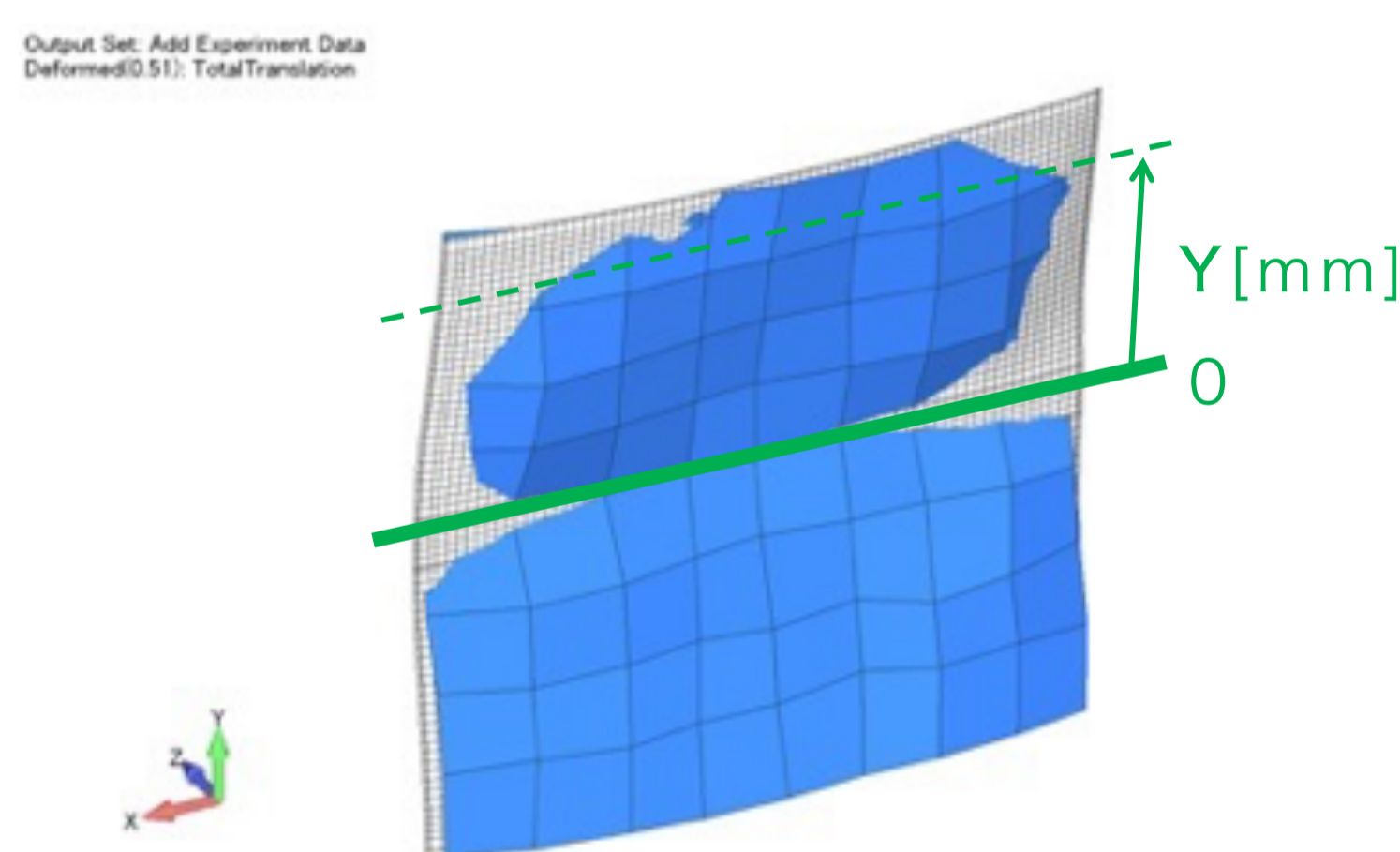
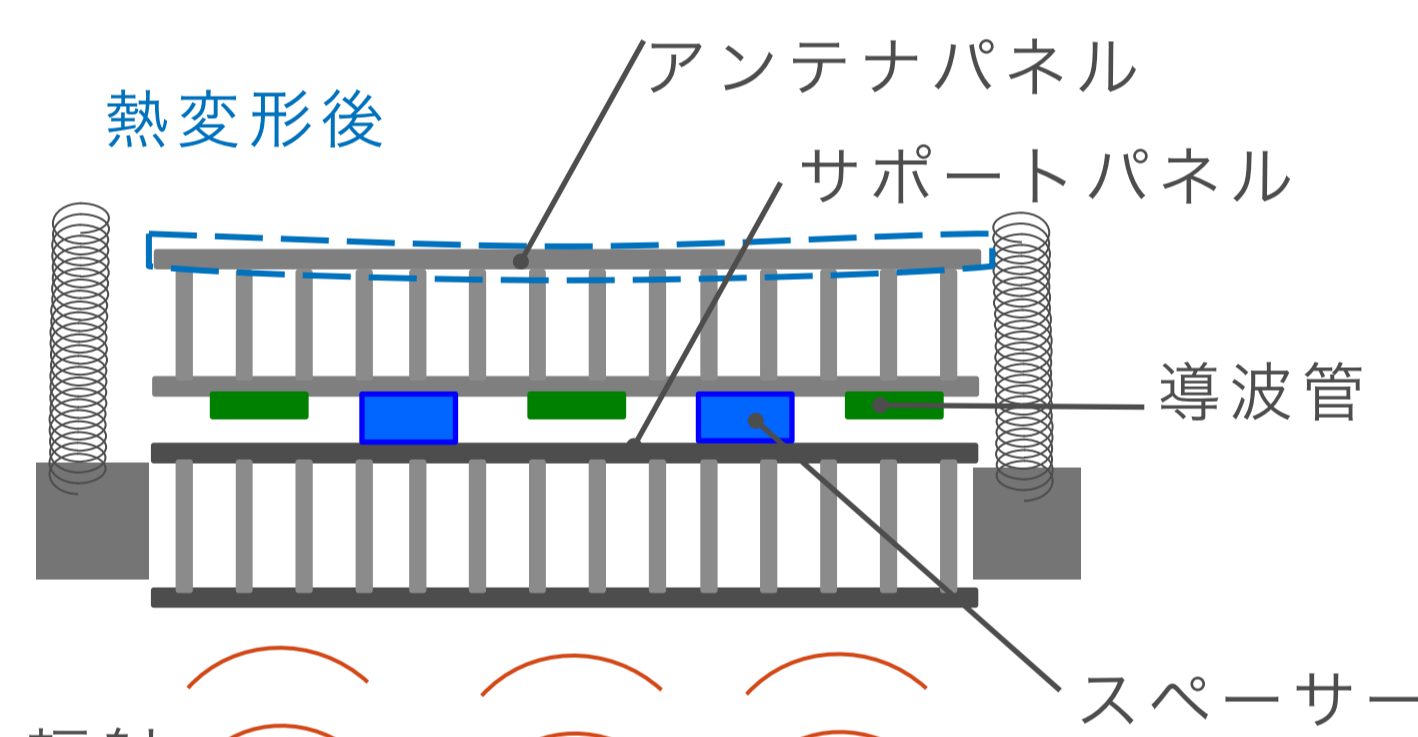
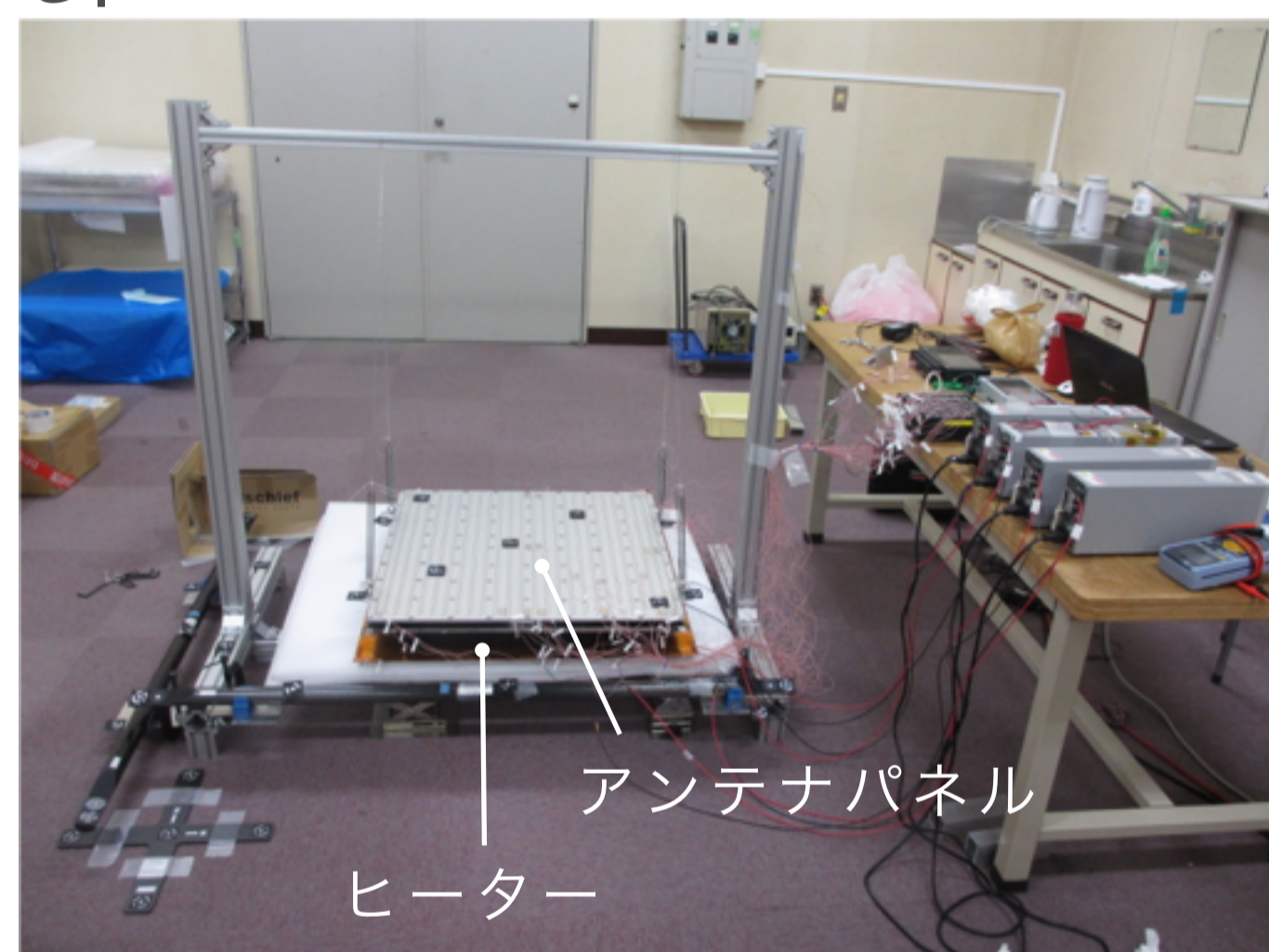
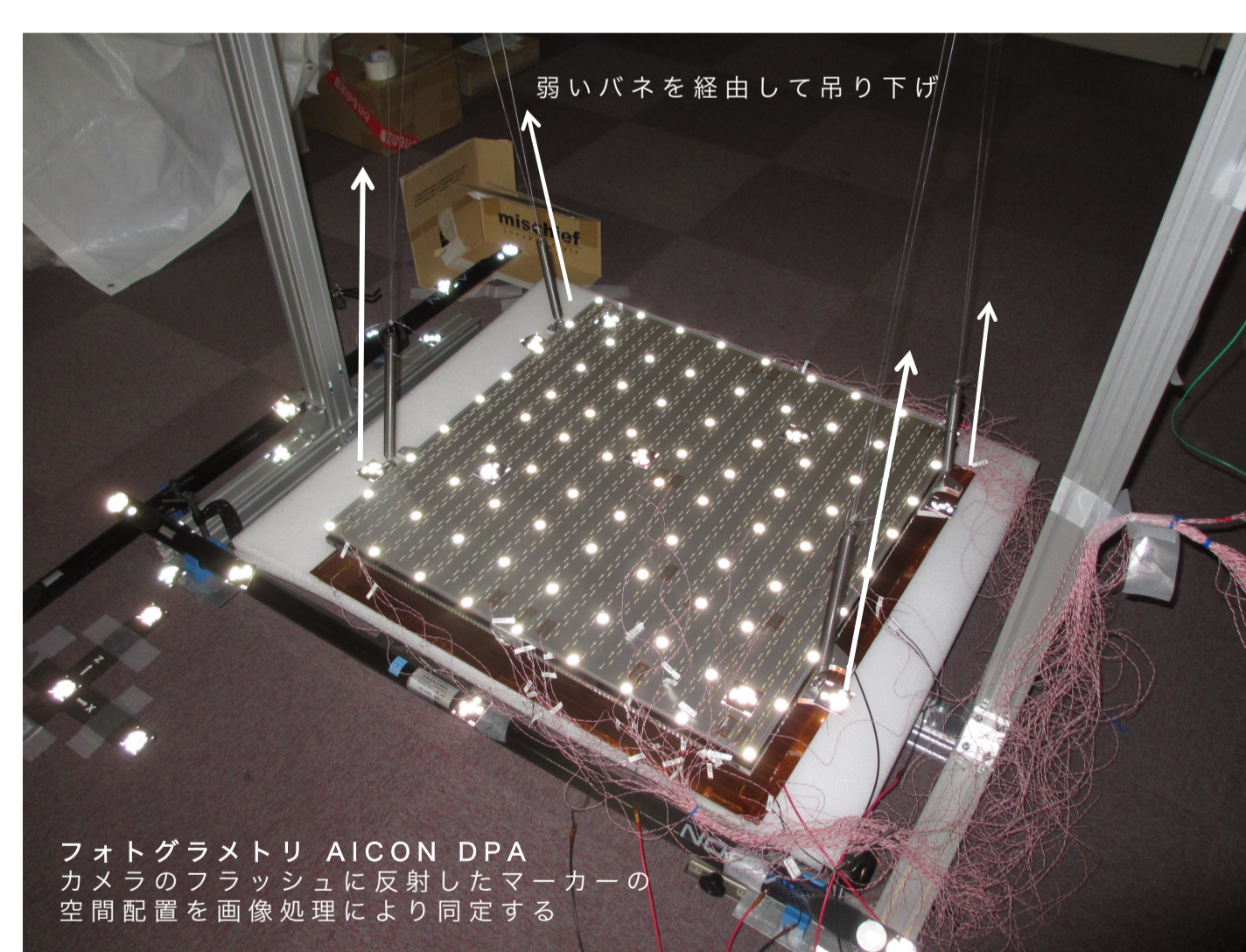


図2. 試験結果と解析結果の比較 (変形量×200)

(青: 熱ひずみ測定試験結果, 白: 熱ひずみ試験での温度分布を基にした熱変形解析結果)



評価手順

1. フォトグラメトリによる実測点および測定した温度分布を基にした熱変形解析の結果から、最小二乗法により平均平面を導出した
2. 面外変位(z方向)を平均平面からの変位として評価した
3. 上記の処理を行い、剛体変位を除き、平均平面からの変位で比較しRMSを導出した

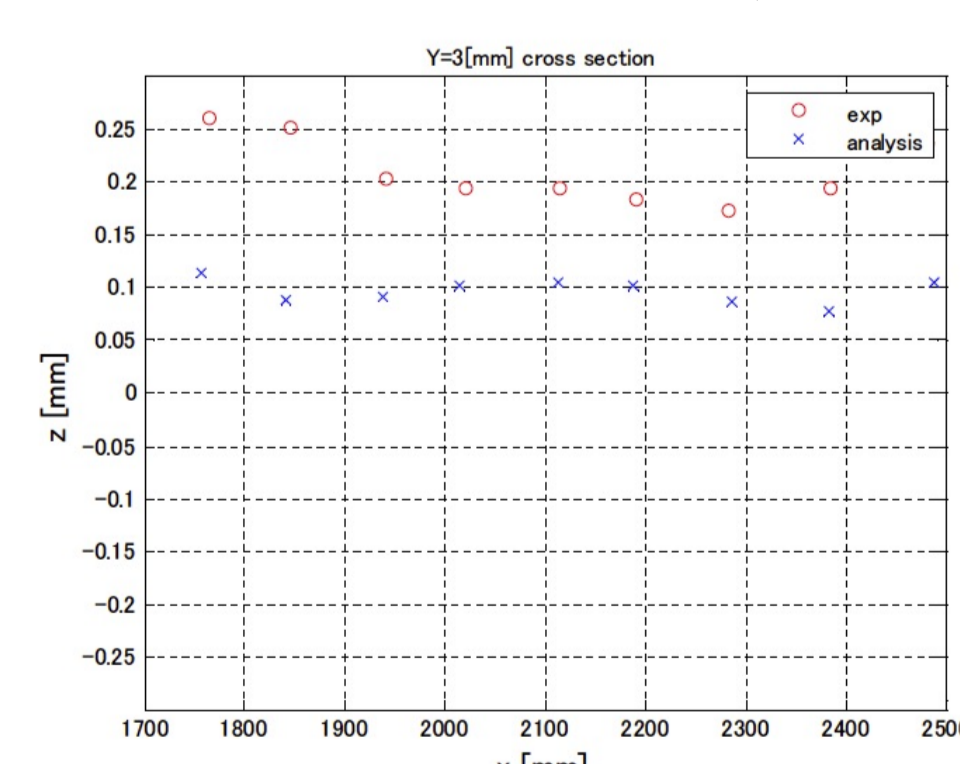


図2中 Y=3mm

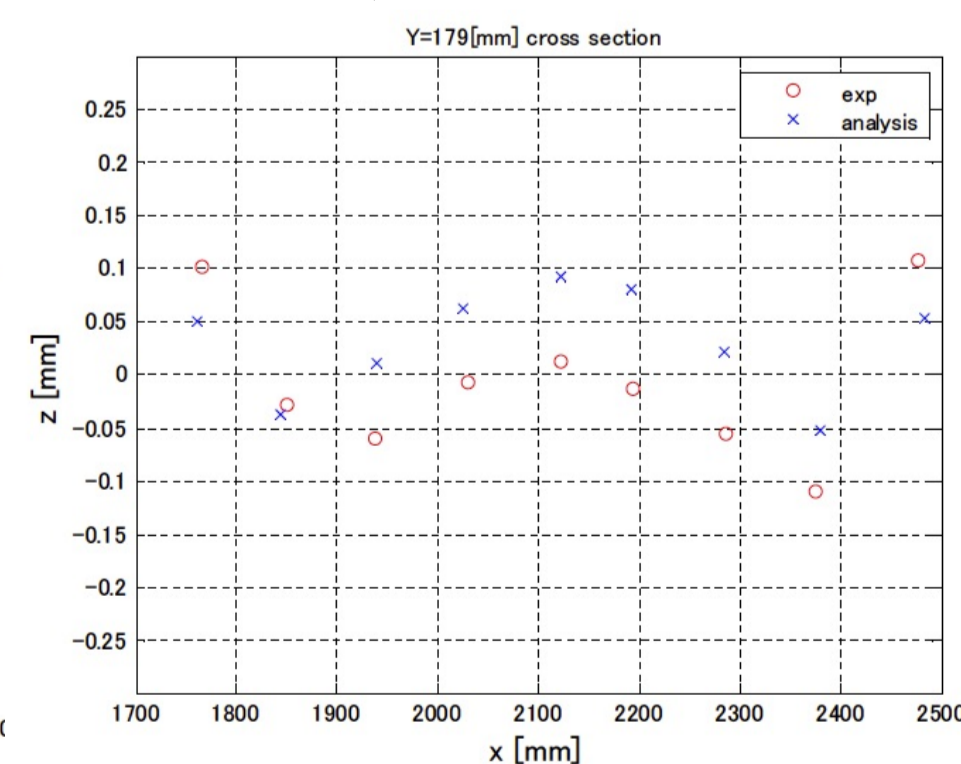


図2中 Y=179mm

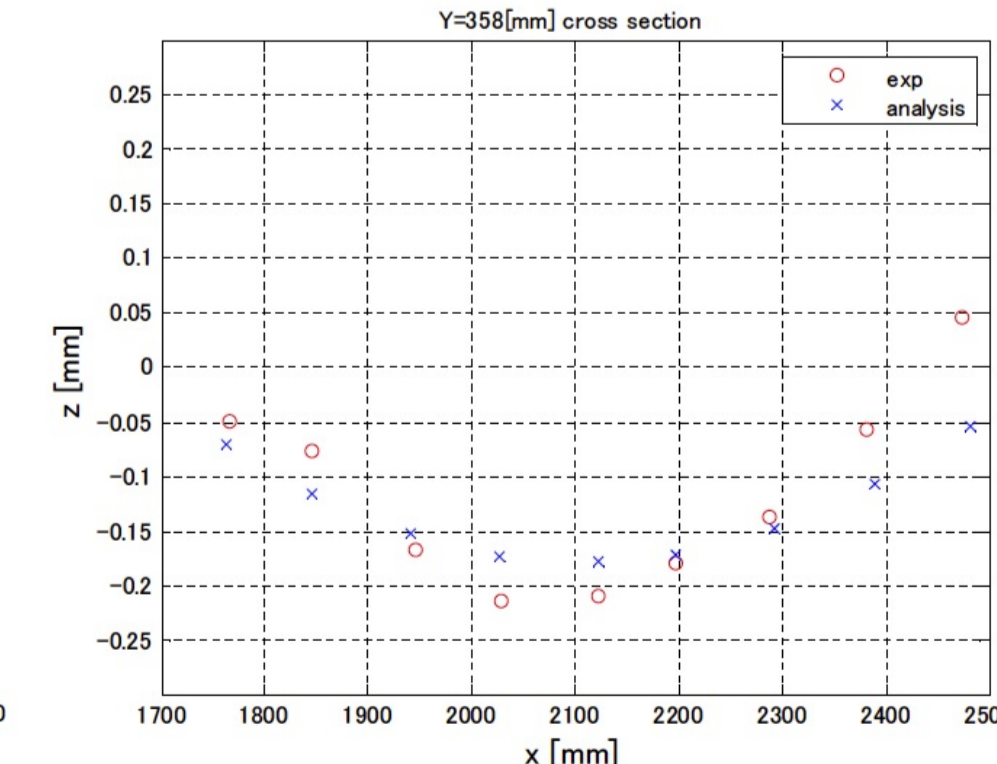
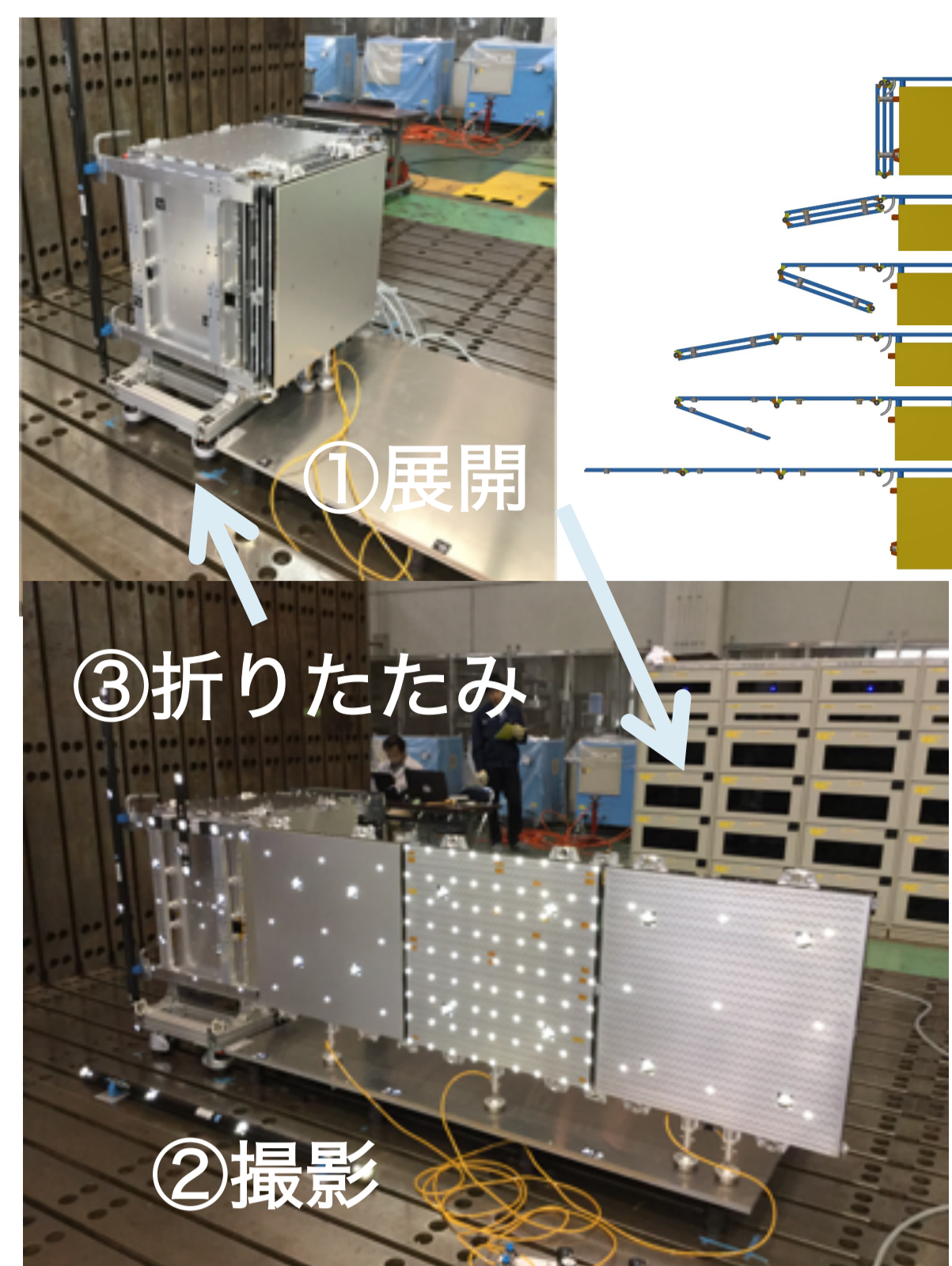


図2中 Y=358mm

	RMS[mm]
試験における変位	0.127
解析における変位	0.094
試験-解析の誤差	0.068

剛体変位を除いたパネル変形量の差は、左表に示す。試験と解析で、変形形状および変位のRMS値は試験と解析でよく合致した結果を得た。ノミナルケースとしては本解析モデルで妥当と判断する。ただし、パネル間の総体格を含めた剛体変位の評価、パネル間のヒンジの熱変形による影響評価が課題である。

3. 展開再現性確認試験



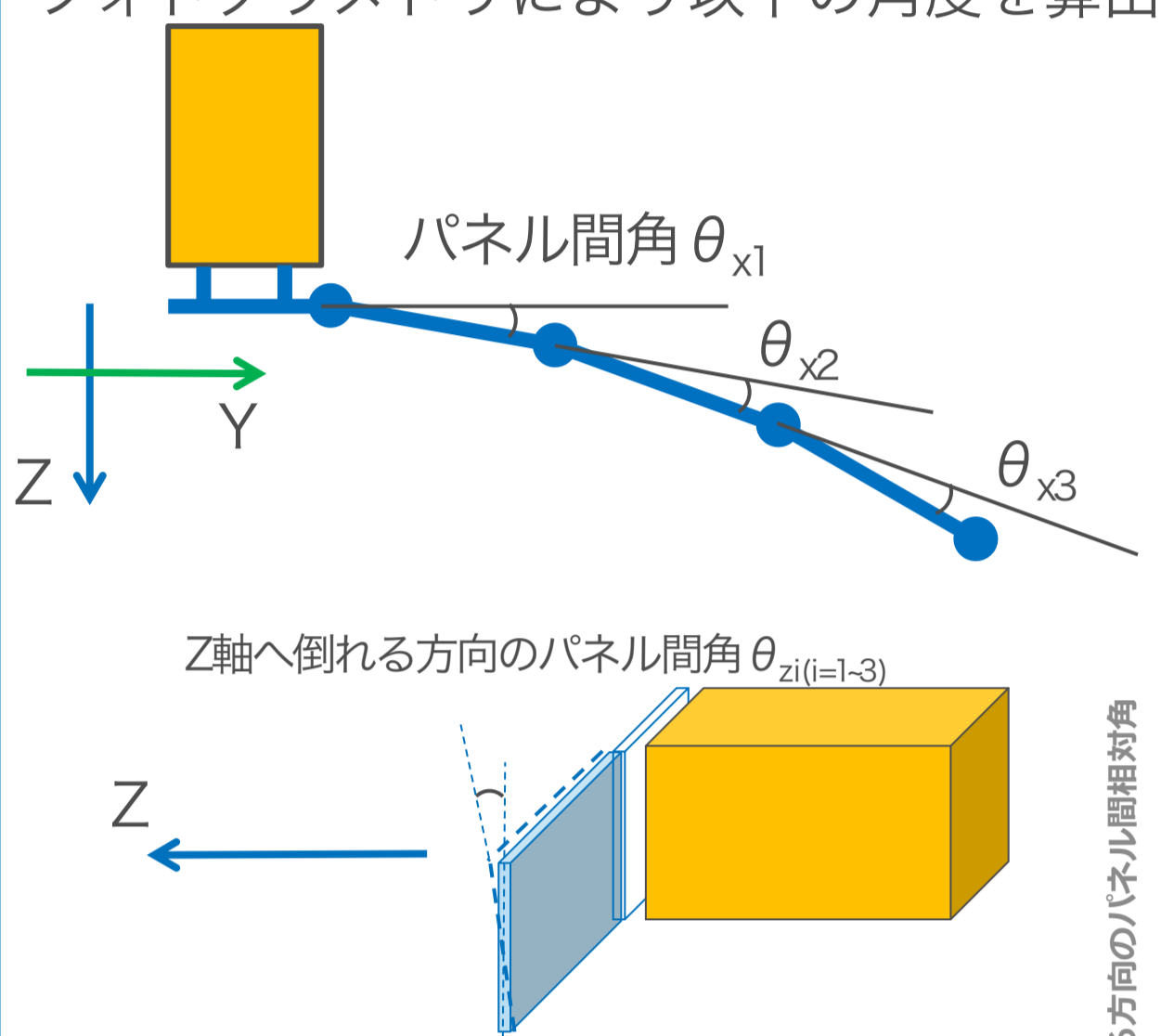
本SARアンテナシステムは展開アンテナ2対と衛星構体上の中央パネルにより全長4.9mとなる。本パネルは熱ひずみの観点から設計変更を行ったため、本試験において、改めて展開パネルの展開再現性を確認することが必要である。エアベアリングを用いた空気浮上装置とフォトグラメトリを用いたアンテナパネルの座標測定により評価した。

展開再現性確認試験 手順

- ① エアベアリングで空気浮上させながら、準静的にパネルを展開する
- ② フォトグラメトリによりパネル面内の測定点を撮影し、座標を取得する
- ③ 元の状態まで再びパネルを折りたたむ

上記①~③を繰り返す

フォトグラメトリにより以下の角度を算出

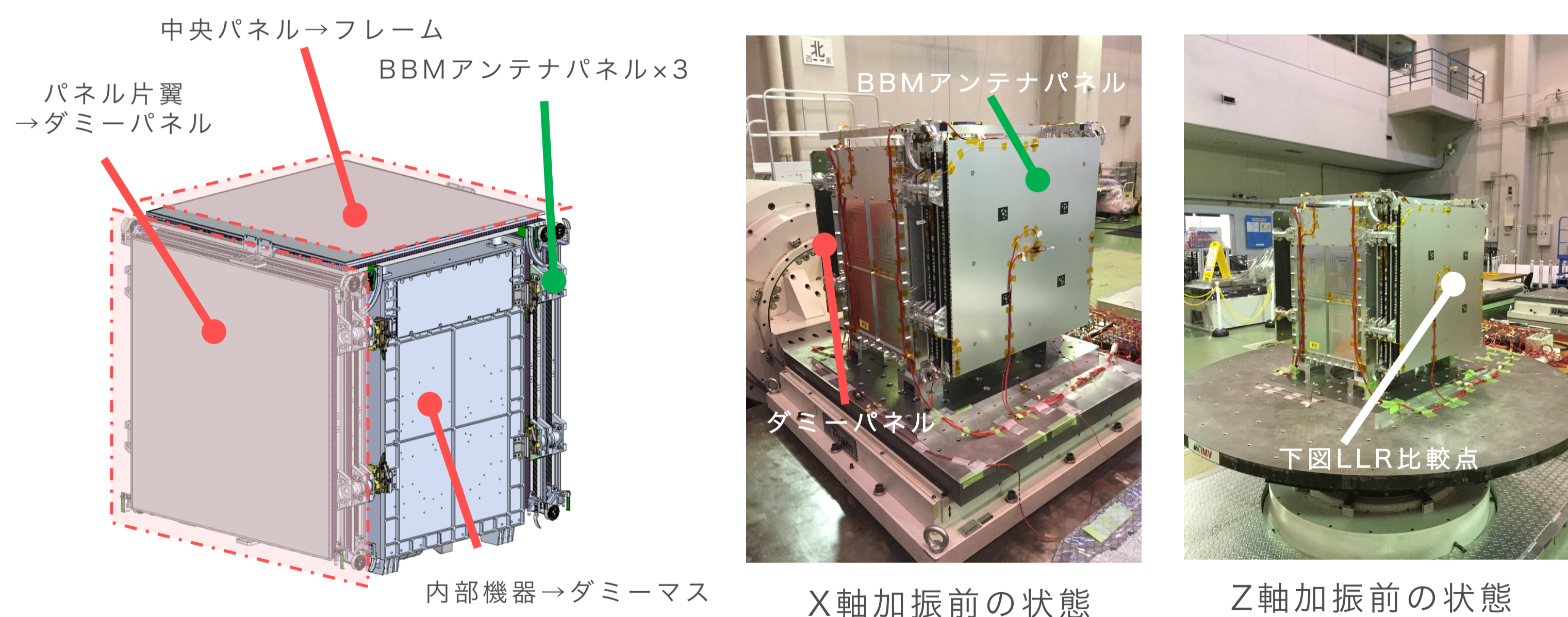


展開再現性試験の結果、平均値からの最大誤差値が $\Delta\theta_x=0.021\text{deg}$, $\Delta\theta_z=0.012\text{deg}$ であり、 $0.391\text{mmRMS}(<0.4\text{mmRMS})$ であるため、展開の再現性が十分であることを確認できた。

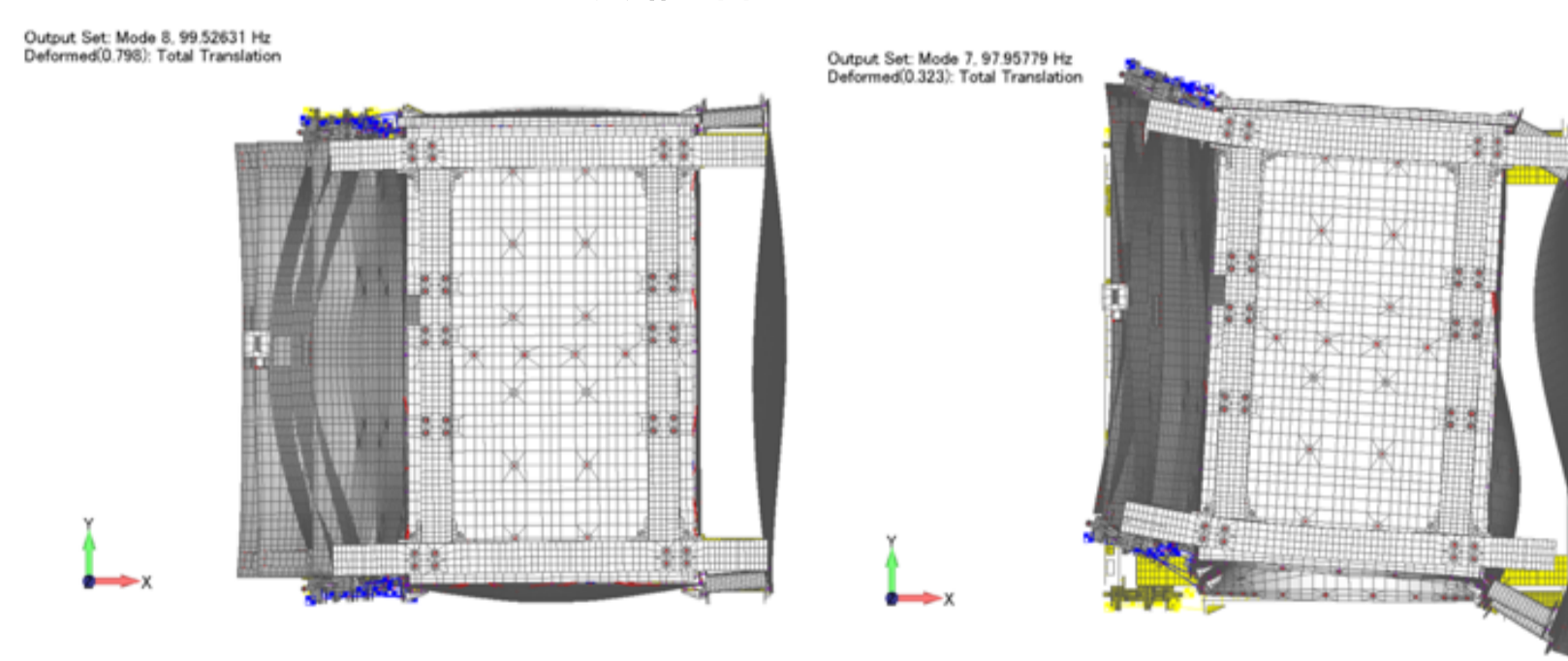
本SARアンテナシステムでは、サポートパネル裏に薄膜太陽電池セルを搭載する予定であるため、複数のハーネスがパネル間に存在するが、本試験には含まれていない。今後はパネル間に引き回すハーネスの展開抵抗を踏まえた展開再現性を評価していくことが必要である。

4. モールドサーベイ試験, 正弦波振動試験

衛星システムから要求される剛性要求、強度要求を満足しているかを模擬衛星構体を用いて試験を実施した。ただし、熱真空試験に供したパネルに接着剥離がみられたため、QT相当の加速度印加(暫定値)は、機軸方向のみとした。



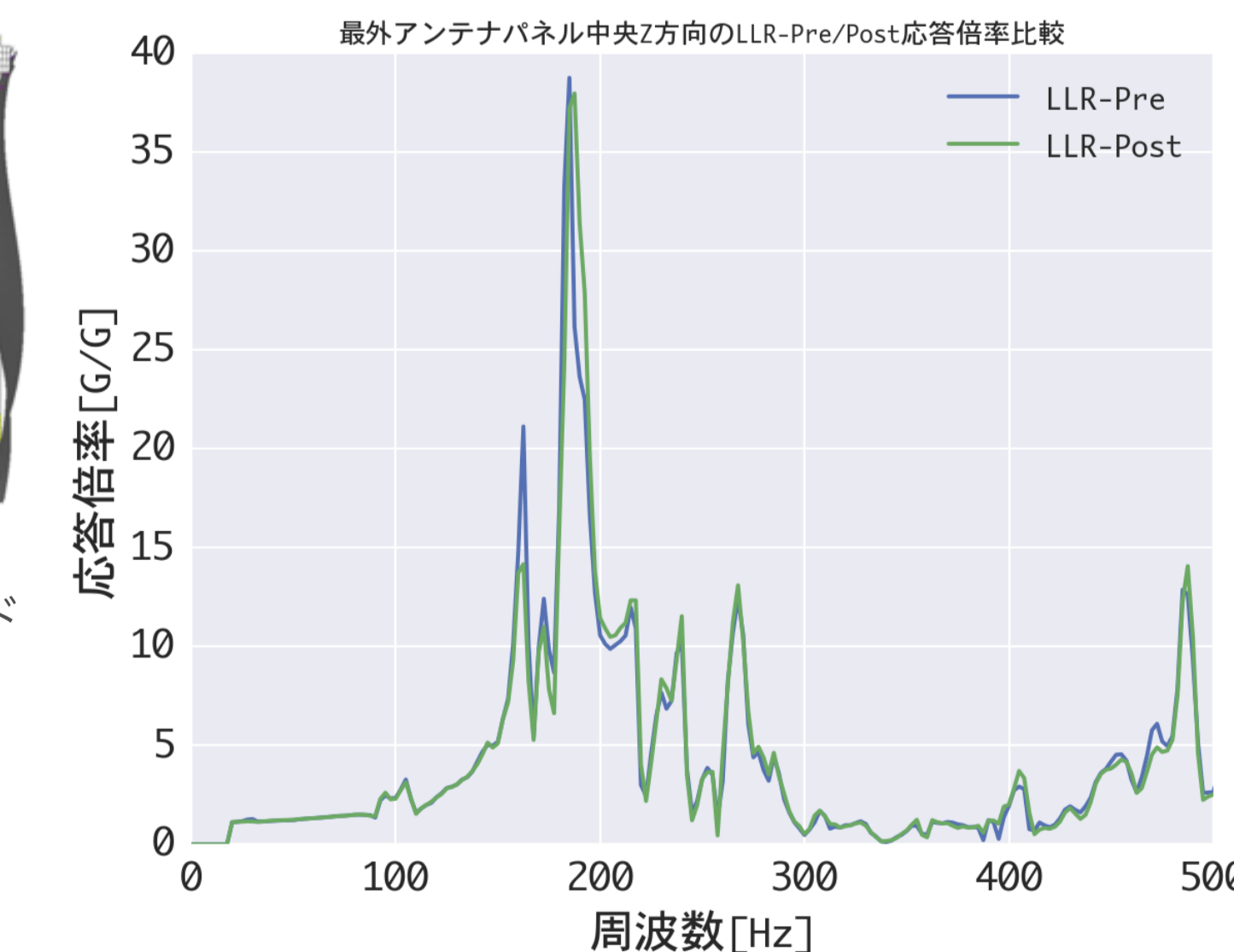
BBM振動試験構体とEMとの違い



BBMアンテナ試験形態 アンテナX方向1次モード

BBMアンテナ試験形態 アンテナY方向1次モード

	試験結果 [Hz]	解析結果 [Hz]
最低固有振動数	72	63
アンテナX軸1次	120	100
アンテナY軸1次	120	103
アンテナZ軸1次	185	160



BBM試験構体の固有振動数が、衛星システムから要求される剛性要求60Hz(暫定値)を満足していることが確認できた。

設計における強度検証として、特定の周波数範囲にQT相当の加速度を印加した。また静荷重試験の代替として、最低固有振動数よりも低い周波数帯域に高い加速度を印加する正弦波振動試験(サインバースト試験相当)を実施した。試験後の外観検査でも問題がなく、試験前後のLLRの比較で有意な差が確認できなかったため、十分な余裕を有する設計が行っていると判断した。

謝辞

本研究は、総合科学技術・イノベーション会議により制度設計された革新的研究開発推進プログラム(ImPACT)により、科学技術振興機構を通して委託されたものです。