

小型SAR衛星ミッション機器の熱平衡試験結果

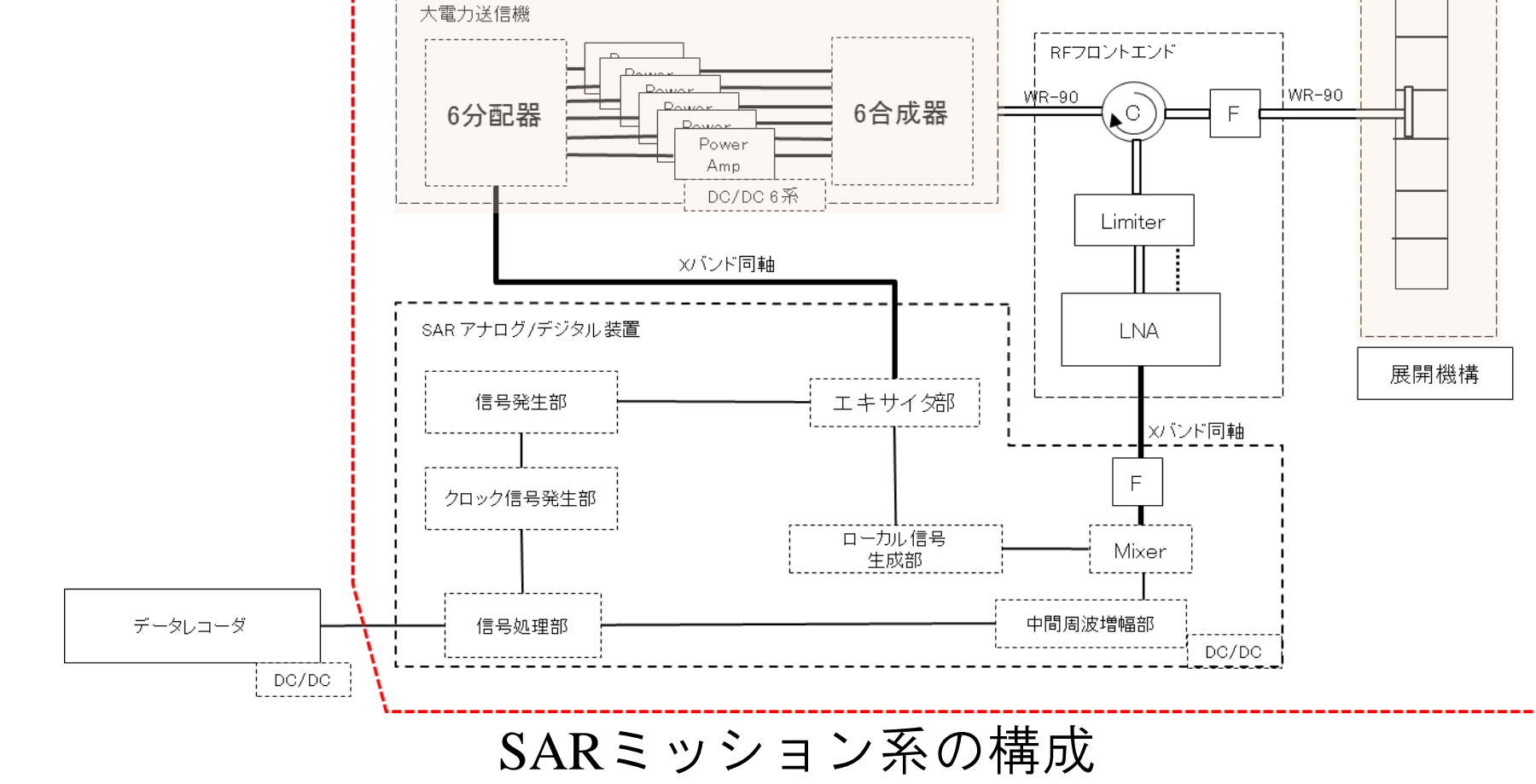
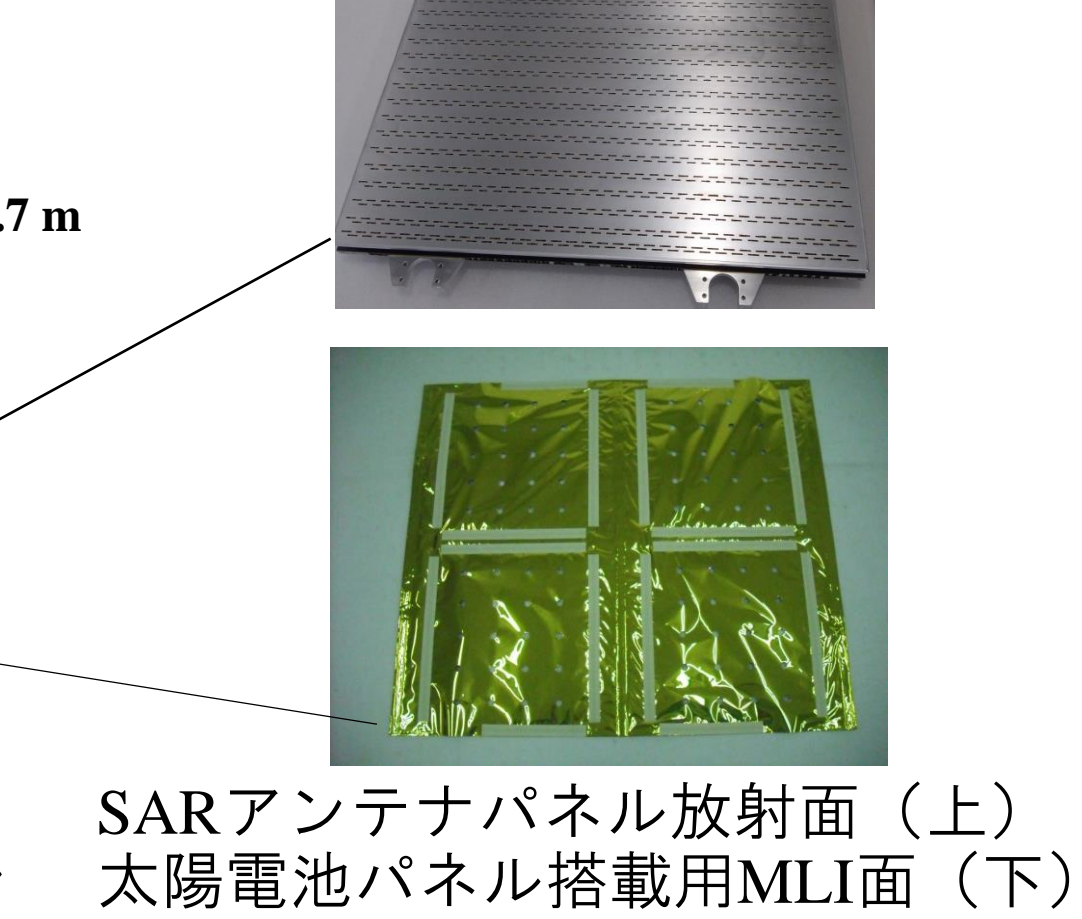
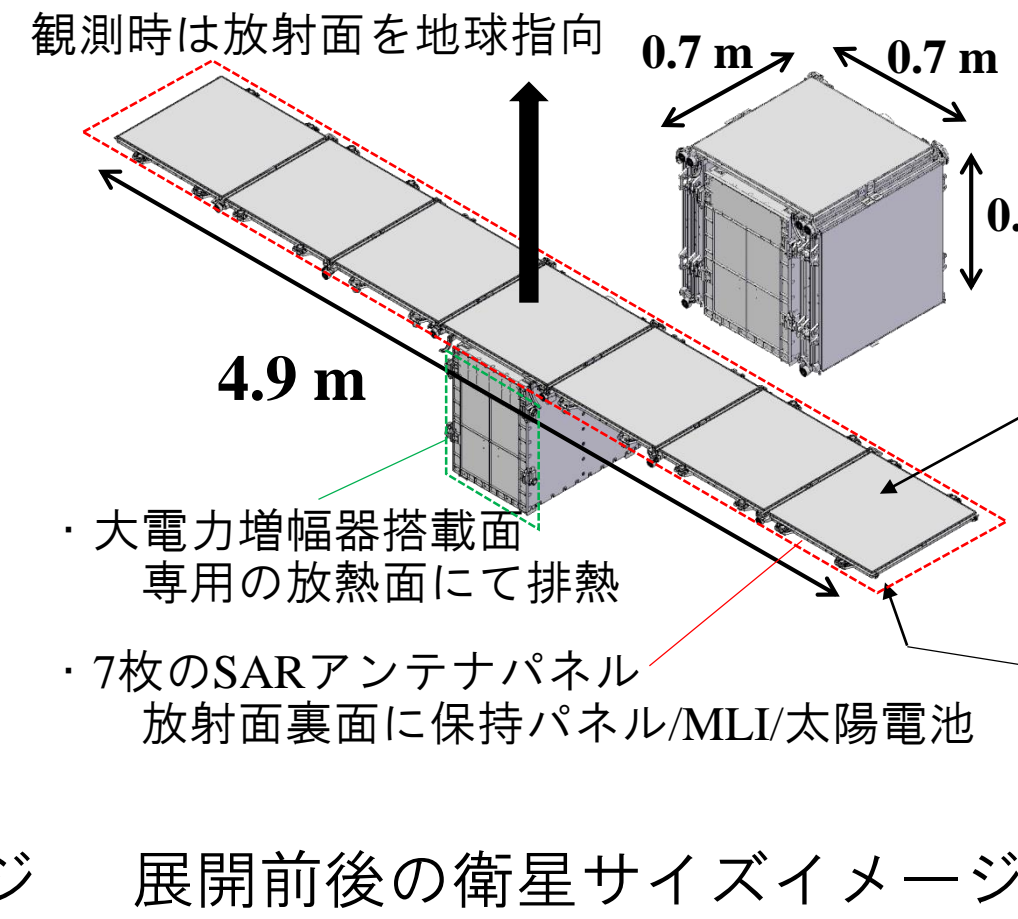
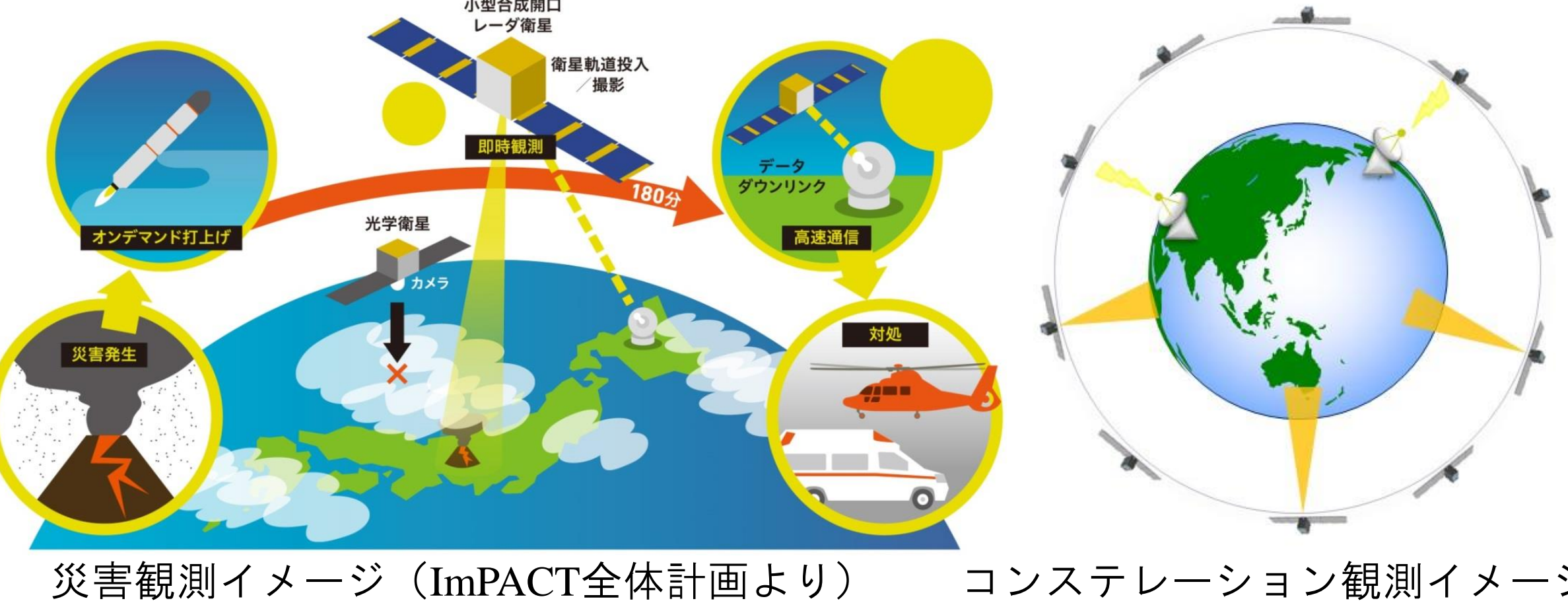
Thermal Balance Test Results of the Components for Small SAR Mission



澤田健一郎¹、杉本諒¹、間瀬一郎²、石村康生¹、馬場満久¹、中村和行³、竹谷昇⁴、伊藤憲男⁴、伊地智幸一⁴、友田孝久⁵、渡邊宏弥⁶、國井喜則¹、田中孝治¹、齋藤宏文¹
1. 宇宙航空研究開発機構、2. 次世代宇宙システム技術研究組合、3. 株式会社テクノソルバ、4. アデコ株式会社、5. TOCOM、6. 慶応義塾大学大学院

小型SAR衛星ミッション概要

- ◆ 自然災害等に対して合成開口レーダ（SAR）による即応観測
- ◆ 衛星規模は小型衛星規模（100 kg級、展開前0.7 m × 0.7 m × 0.7 m）
→展開型SAR観測、SAR放射面と太陽電池パドル面の共用化
- ◆ Xバンド（9.6 GHz）による観測にて高度300kmで1m分解能を実現
→SAR放射面の位相ばらつき抑制：SARアンテナパネル放射面の熱むずみの抑制が重要
→SAR放射用の電力増幅器出力1kW程度：SAR送信電力増幅器の排熱設計が重要



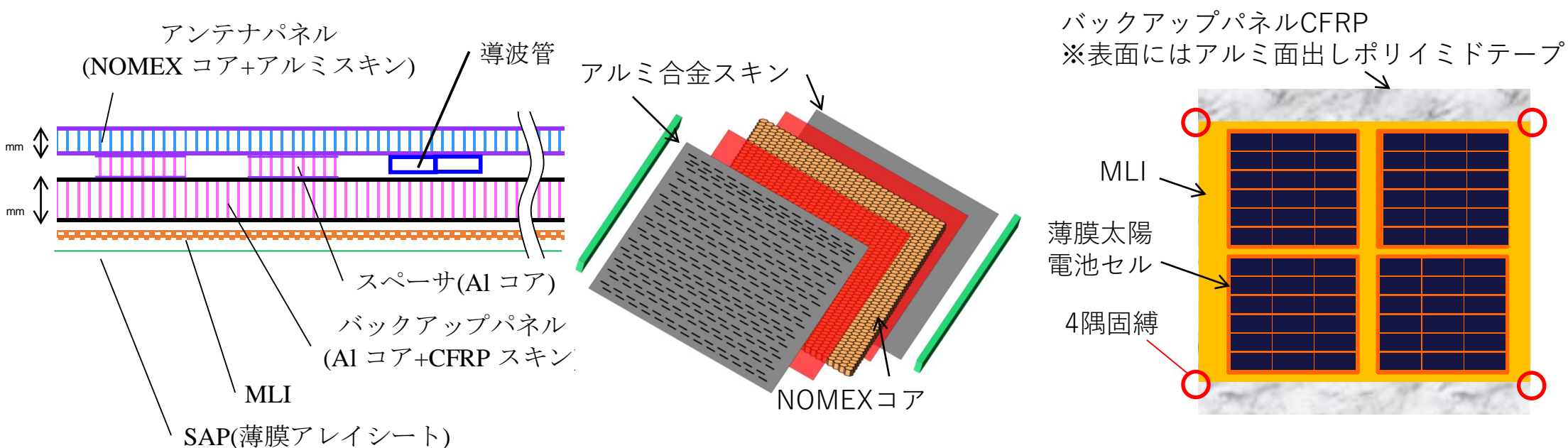
小型SARアンテナパネル 熱設計・試験・解析

1. SARアンテナパネルに対する熱的要求

- ・アンテナパネル熱歪軽減のためのSAR観測時の熱的仕様
仕様① アンテナ裏面の温度差が概ね10℃以下であること
仕様② アンテナ温度が製造時温度（20℃）からの差±40℃に収まること
※異種材料を常温状態で接合しているため製造時温度を基準
- ・アンテナパネルの各材料・機器、太陽電池セルが許容温度範囲内に収まること

2. SARアンテナパネルの熱設計

- ・アンテナ、スペーサ、バックアップパネル、10層MLI、薄膜太陽電池セルで構成（下図）
- ・高剛性かつ低熱膨張のバックアップパネルによるアンテナパネルの補強
※高剛性CFRPスキンの高熱伝導アルミ合金ハニカムコア
- ・スペーサの配置によってアンテナ～バックアップパネルに間隙を設けて熱歪抑制
- ・アンテナと太陽電池パネルを共用化するため、MLIを介して薄膜太陽電池セルを配置



3. SARアンテナパネルの熱平衡試験

- ・2017年10月に早稲田大学小型真空チャンバにて熱平衡試験実施
- ・アンテナ1枚をナイロン線を用いて真空チャンバに吊って固定
- ・アンテナパネル表面（スリット面）への熱入力もIRヒータで模擬した状態で試験を実施
- ・太陽電池アレイダミーはBBM試験使用品を流用
- ・パネル側面からの熱流出が大きいため取得データを下に熱数学モデルの精度は向上せず
- 次のパネル製造・試験セットアップにて側面を低ε処理とする
※現状は一部εの大きいCFRPが見えていた事から側面の熱流出が大きくなっていた
- ・パネル面外・面内の温度分布は5℃以下であり、熱設計がある程度妥当性である事を確認

4. SARアンテナパネルの軌道上熱解析（詳細：右上）

- ・観測タイミングは決まっておらず観測時には必ず要求を満足する必要あり
- 試験環境条件が大きく変化する下記2ケースにて熱解析実施
① 日陰前観測：日陰入り前に観測期間（5分間）パネル地球指向
② 日陰後観測：日陰明け後に観測期間（5分間）パネル地球指向
- ・各運用ケースの高温・低温最悪にて下記の成立性を確認
各パネル表裏面温度差<10℃ パネル全表面温度-20℃～+60℃

5. 今後の計画（詳細：右下）

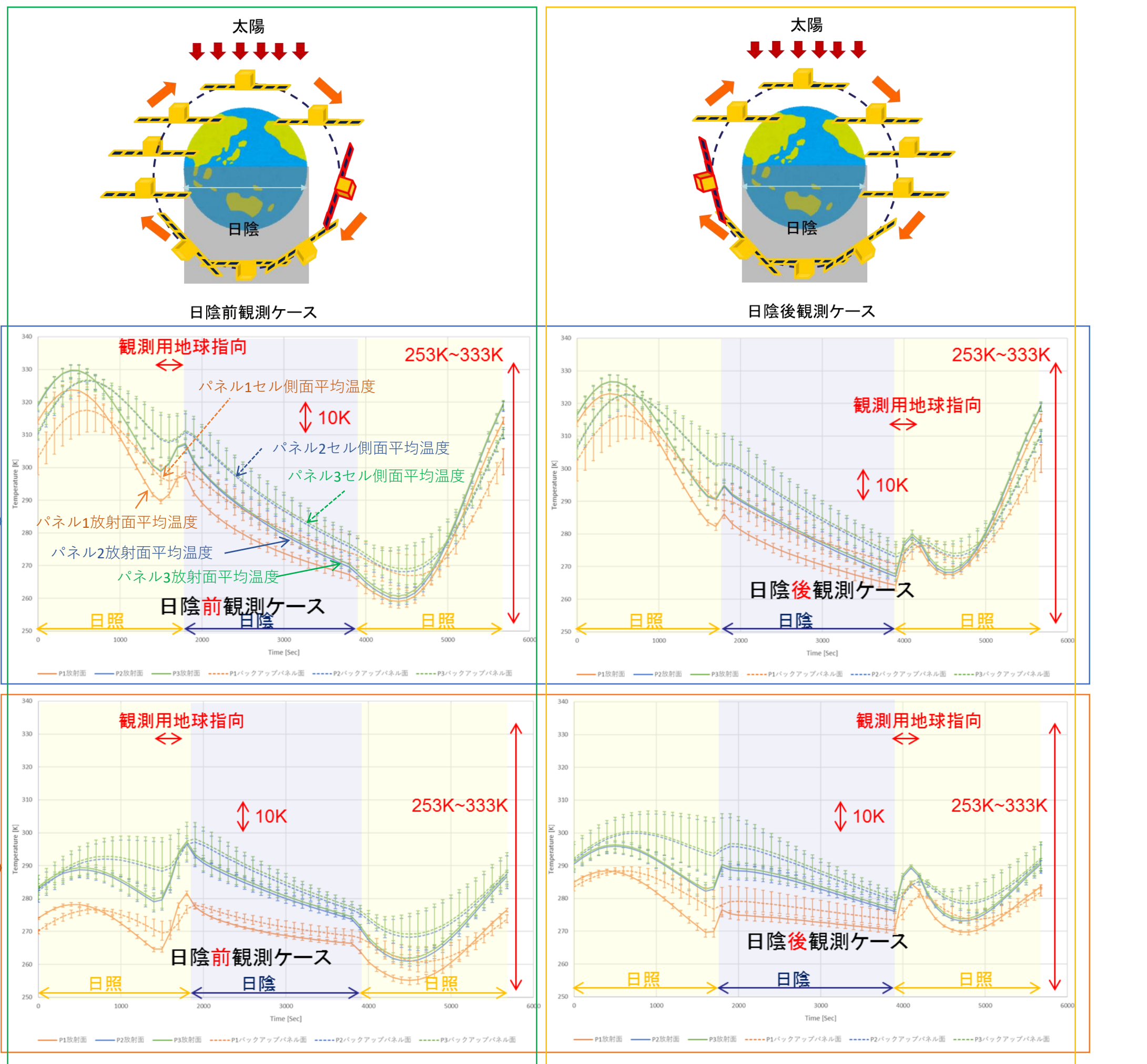
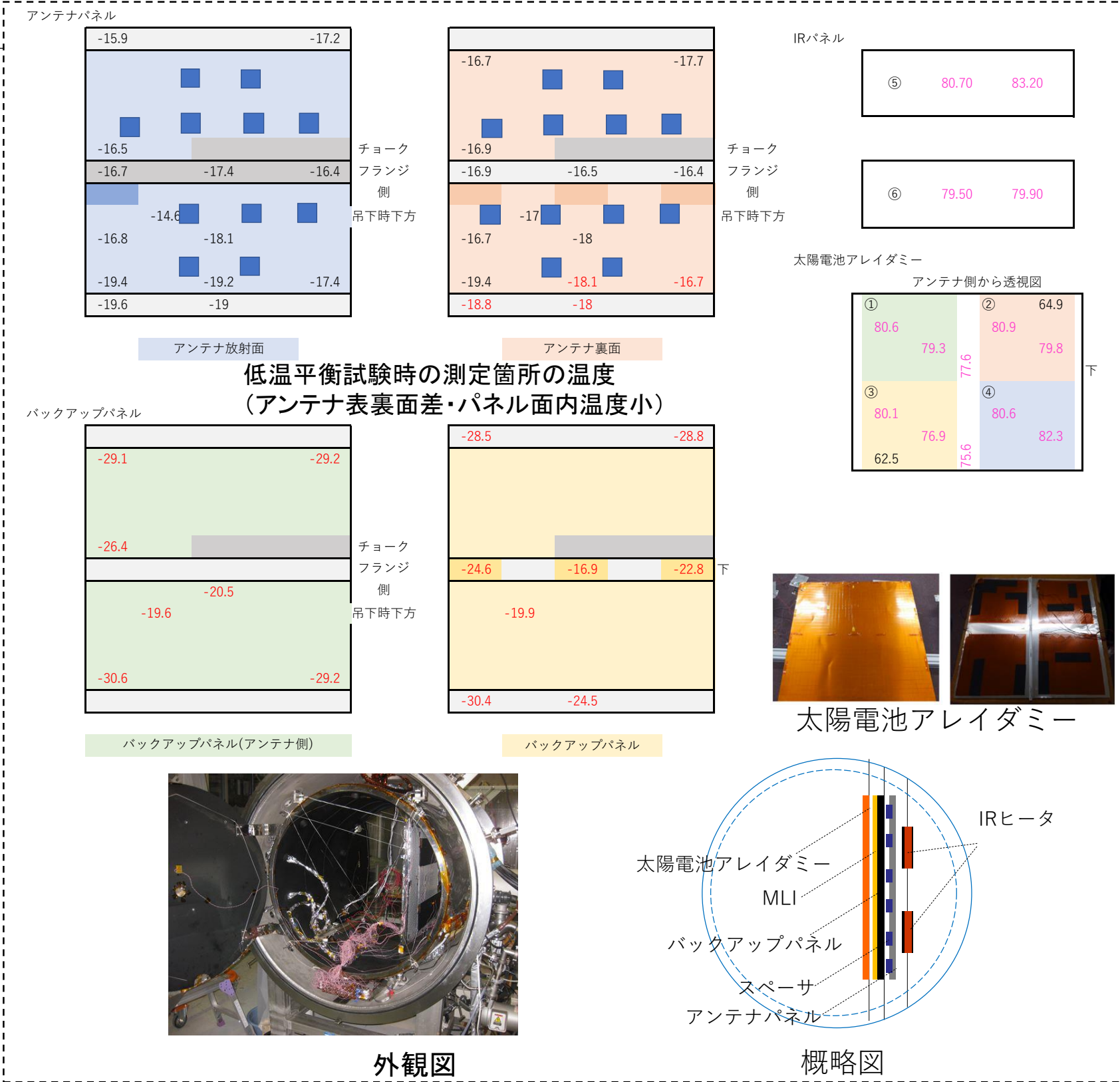
- ・衛星システム（バス部）とのI/F条件調整及び結合熱解析の実施
- ・打上げ初期シーケンスに関する熱解析
- ・各種熱平衡試験（模擬機体へのソーラ照射試験・パネル単体試験等）
- ・PFMアンテナパネル7枚の製造

アンテナパネル構成品の許容温度範囲設定		
アンテナパネル構成品の材料・機器名称等	許容温度範囲	備考
アンテナパネル	-20℃～60℃	製造温度が20℃の場合
接着剤FM73（Cytec）	-100℃～88℃	ハニカムコアとスキンの接着に使用
エポキシ接着剤	-60℃～120℃	スペーサとパネルとの接着に使用
Y966	-40℃～150℃	MLIベルクロ接着やセル接着に使用
薄膜太陽電池セル	-178℃～161℃	

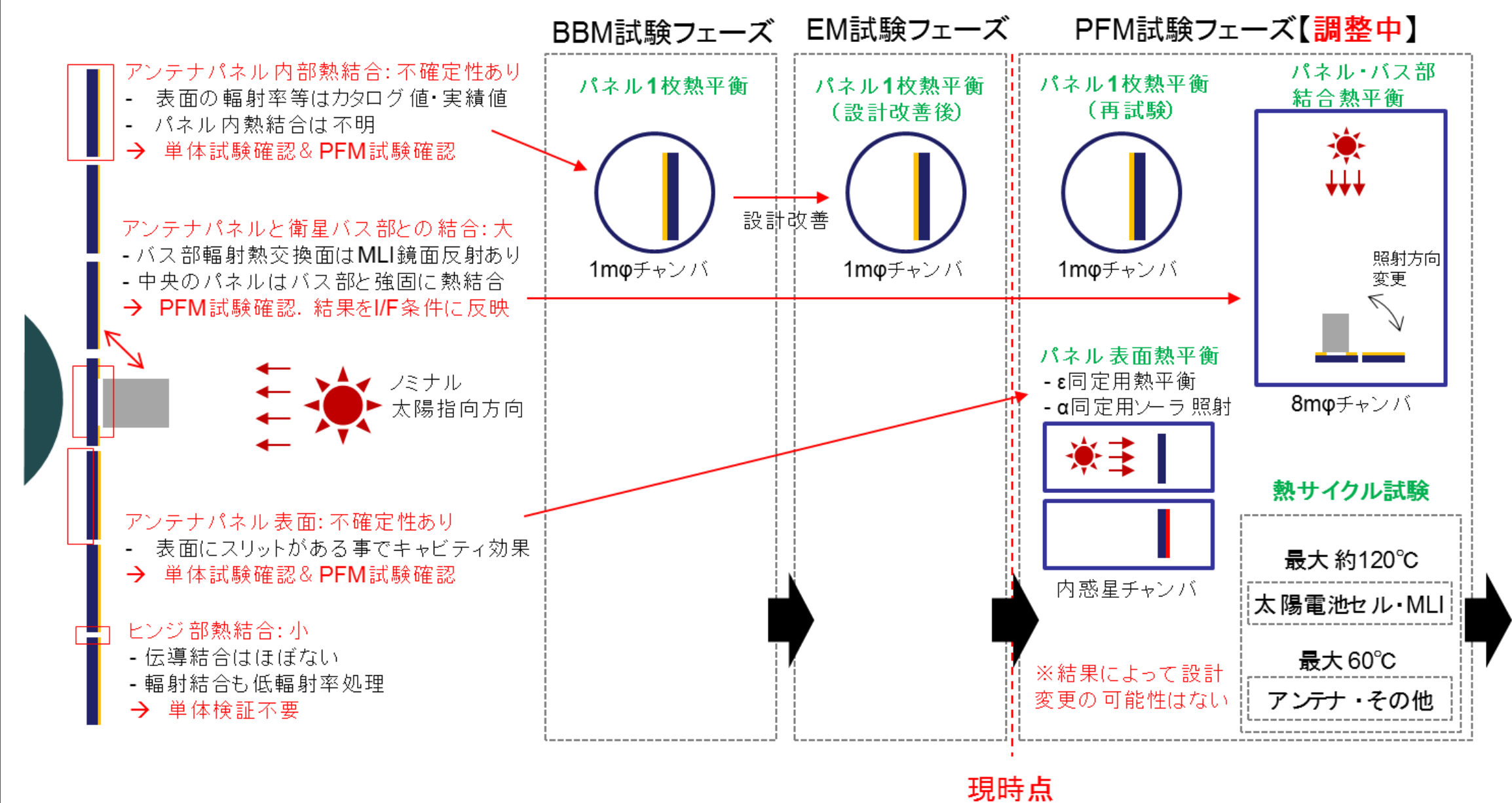
- Xバンド（観測周波数9.65GHz z / 波長31mm）
- ・位相ばらつき1/20波長以下（1.5mm）が必要
- ・電氣的給電誤差（0.5mm）とアンテナ面精度誤差（1.0mm）

アンテナ面精度誤差配分		
項目	誤差配分	備考
パネル製造誤差	0.2 mm RMS	製造実績
機械角度誤差	0.4 mm RMS	展開試験実績
アンテナ熱変形	0.7 mm RMS	熱歪解析
その他	0.5 mm RMS	
合計	1.0 mm RMS	

- 熱的要求（熱歪要求をもとに歪解析結果より）
- ・アンテナ表裏面温度差 Δ10℃
- ・製造時温度（20℃）からの差 ±40℃程度



SARアンテナパネルの軌道上熱解析予測温度



SARアンテナパネル熱設計関連試験計画・実績

小型SAR送信電力増幅器 熱設計・試験・解析

1. SAR送信電力増幅器に対する熱的要求

- 中心周波数：9650MHz
- 帯域幅：300MHz
- 出力電力：1000W
- オンデューティ：25%（目標）
- 繰り返し周波数：3-8 kHz
- 動作時間：1軌道周期あたり約5分（目標）
（上限温度による制約：熱設計制約）
- 重量：8kg目標（熱装架、熱蓄熱板を除く）

2. SAR送信電力増幅器の熱設計

- ・5分間の運用で問題となるのは発熱密度が大きい増幅器素子温度
- ・設定された増幅器素子（HEMTチャンネル）上限温度に対して、銅モジュールで一定程度の顕熱蓄熱効果を図り、アルミ合金の蓄放熱パネルにて顕熱蓄熱と熱拡散を図っている。蓄熱材の適用も検討したが、熱拡散が確保できないため使用を断念。
- ・接触熱抵抗低減のため、面外高熱伝導のグラファイトシートの適用に加え、間隙の大きいモジュール底面には柔軟性の高いλゲルを適用した。λゲルによる面内均一加圧性は試験にて確認。

3. SAR送信電力増幅器の熱平衡試験（詳細：右上）

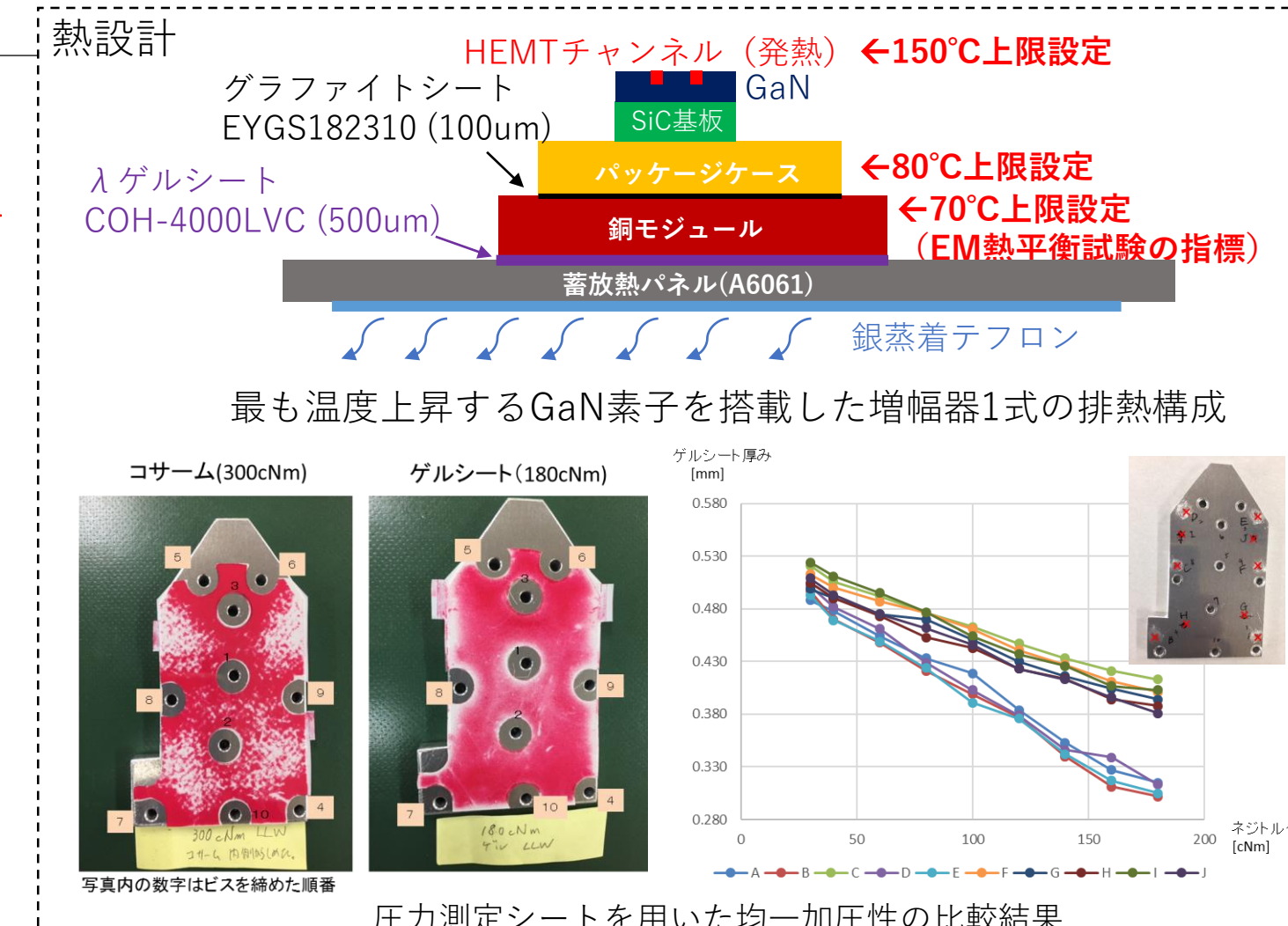
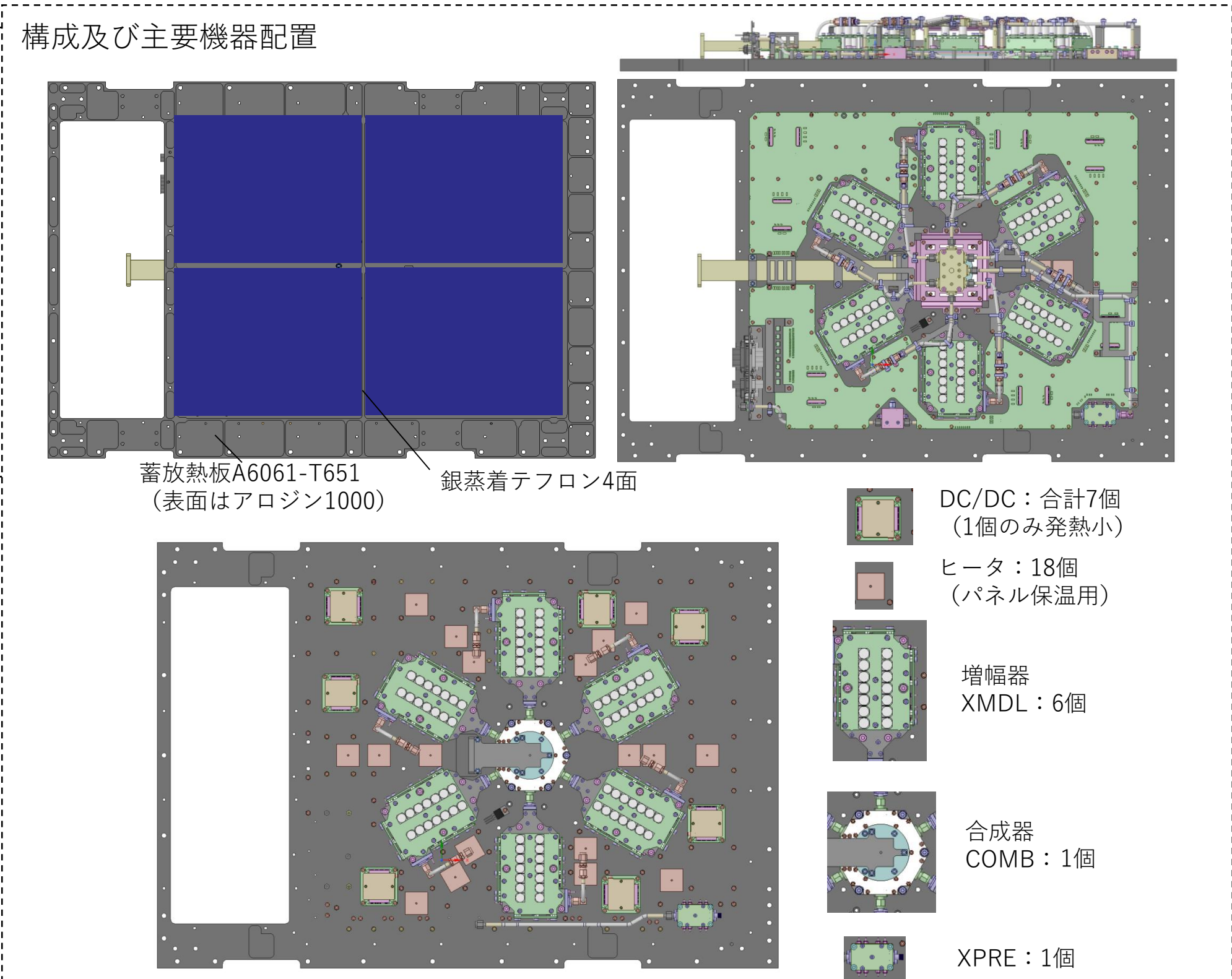
- ・2017年10月に早稲田大学小型真空チャンバにて熱平衡試験実施。
- ・増幅器1式が載ったパネルの排熱面をシュラウド天板に向け、発生したマイクロ波は導波管を通して終端器に落とす。
- ・試験は増幅器が載った蓄放熱パネルの温度を低温（-20℃）と高温（0℃）の2パターンに設定して実施。
- ・5分間の増幅器ON試験を実施し、モジュール温度が全て70℃以下に収まり、電気性能としても目標周波数帯にて1kW出力を達成。

4. SAR送信電力増幅器の軌道上熱解析（詳細：右下）

- ・熱平衡試験にて精度を向上させた熱数学モデルにて解析を実施
- ・蓄放熱パネルは過冷却されるので、一定の保温ヒータ電力は必要となるが、規定の温度（-20℃）まで保温した後、温度としては十分にマージンがある状態で5分間運用が可能であることを確認。
- 一方で規定温度レベルまでの冷却には時間を要する事も確認。

5. 今後の計画

- ・衛星システム（バス部）とのI/F条件調整及び結合熱解析の実施
- ・打上げ初期シーケンスに関する熱解析
- ・PFM製造・リファビッシュ（一部フィラー材の変更検討含む）



熱平衡試験

