

超小型深宇宙探査機PROCYONの熱設計

古本 拓朗⁽¹⁾, 吉野 康平⁽¹⁾, 野々村 拓⁽²⁾, 間瀬 一郎⁽³⁾, 戸谷 剛⁽⁴⁾, 岡田 空馬⁽¹⁾, 滝澤 潤一⁽¹⁾, 船瀬 龍⁽¹⁾

(1)東京大学 (2)宇宙科学研究所 (3)次世代宇宙システム技術研究組合 (4)北海道大学

超小型深宇宙探査機における熱設計の課題と対策

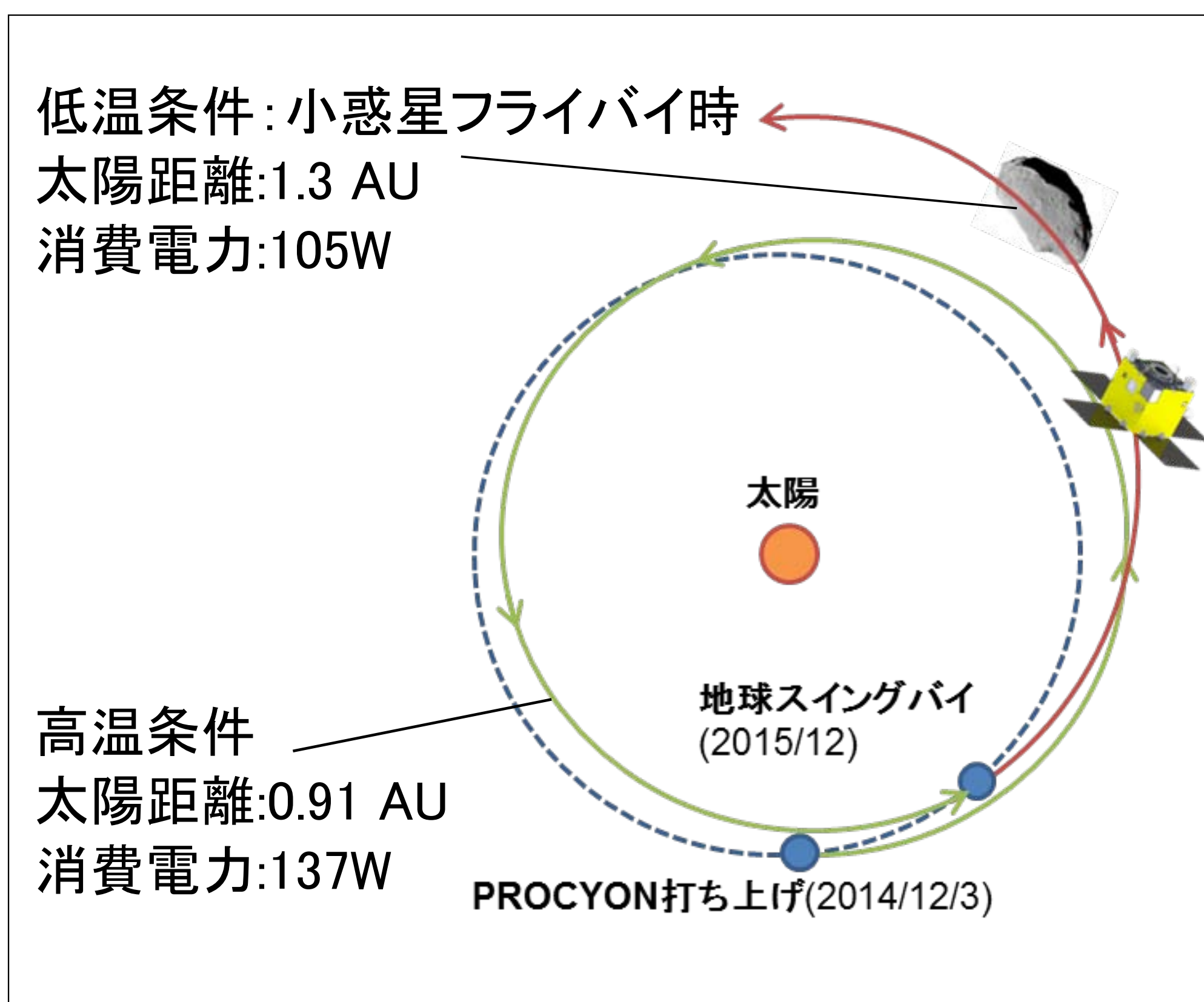
本探査機では表面係数を表面塗装やMLIを利用することで調整し、受動的な熱安定を達成することを基本方針としている。加えて温度計とヒーターを搭載し、能動的な温度制御を実施することを考えている。PROCYONは深宇宙探査機であるため、従来の超小型周回衛星バスでは達成できない以下の熱設計上の課題が存在する。

①太陽距離の変化による太陽輻射入熱量の変化

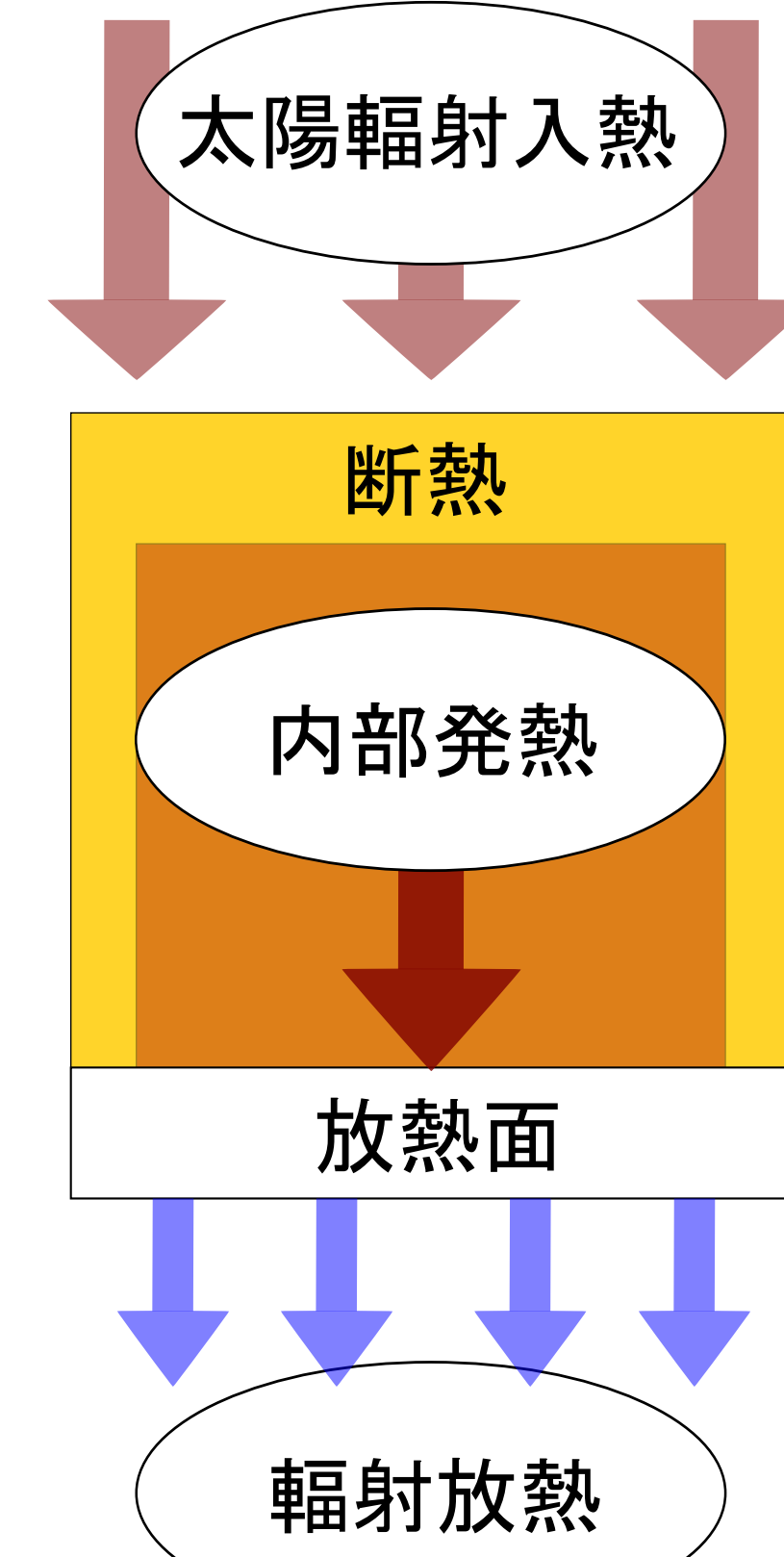
PROCYONミッション中に太陽距離が約0.9AU~1.3AUまで変化するため、太陽光の強度が大きく変化する。その上、ミッション中に姿勢も大きく変化し入射角も大きく変化する中で熱設計が成立する必要がある。このための対応として、太陽光入射面を断熱し、太陽光強度に対する依存性を可能な限り低減した。

②高発熱通信機の存在

外部と断熱する一方で、PROCYONは深宇宙で通信を確保するために必要なパワーアンプ(SSPA)等の高発熱機器が存在するため、内部発熱を適切に放熱しなければならない。そのため、PROCYONでは反太陽指向面を白色塗装で塗装して輻射率を大きくし、内部発熱と輻射放熱のバランスによって機体温度を適切に保つ設計とした。



PROCYONの軌道と熱条件

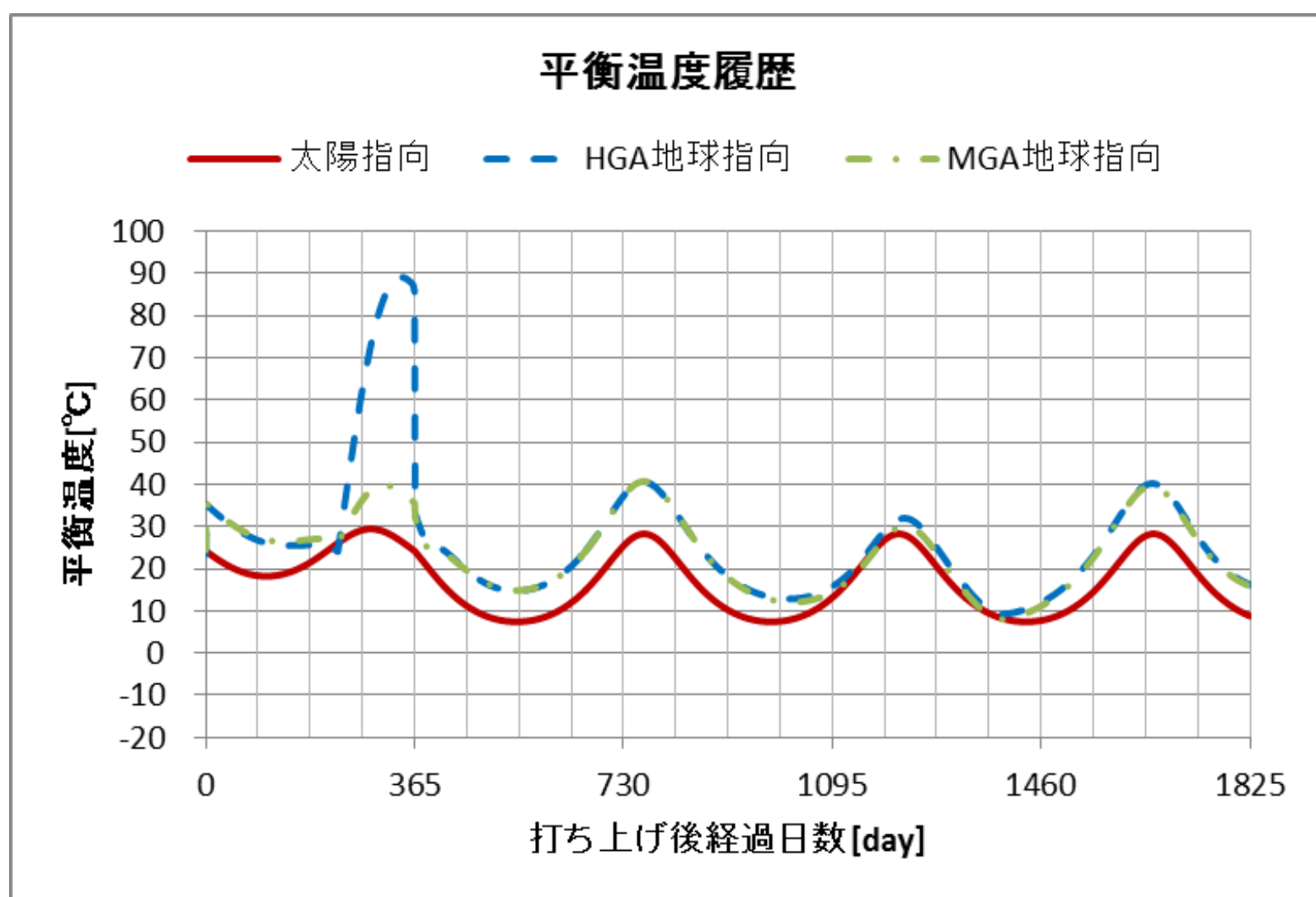


PROCYONの熱制御方式

PROCYONの熱設計プロセス

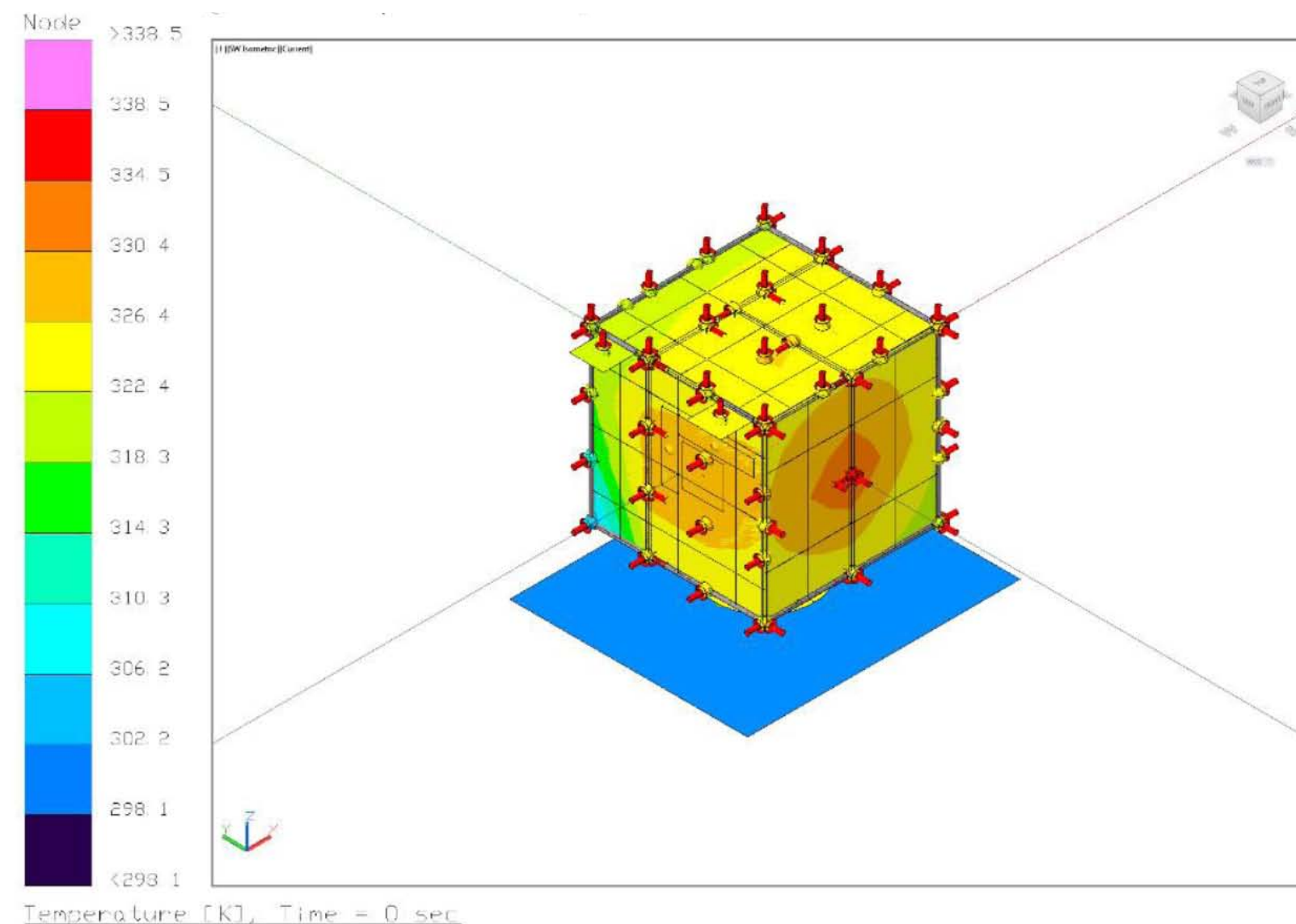
1. 少数節点解析

PROCYONの熱設計では、まず熱・電力・通信・軌道などシステム全体での成立性を見通しを立てるために、最初に1節点~3節点の少数節点解析を行った。



2. 詳細熱数学モデル作成

少数節点解析でミッション全体の成立性を見通しを立てた後、300節点規模の詳細熱数学モデルを作成した。



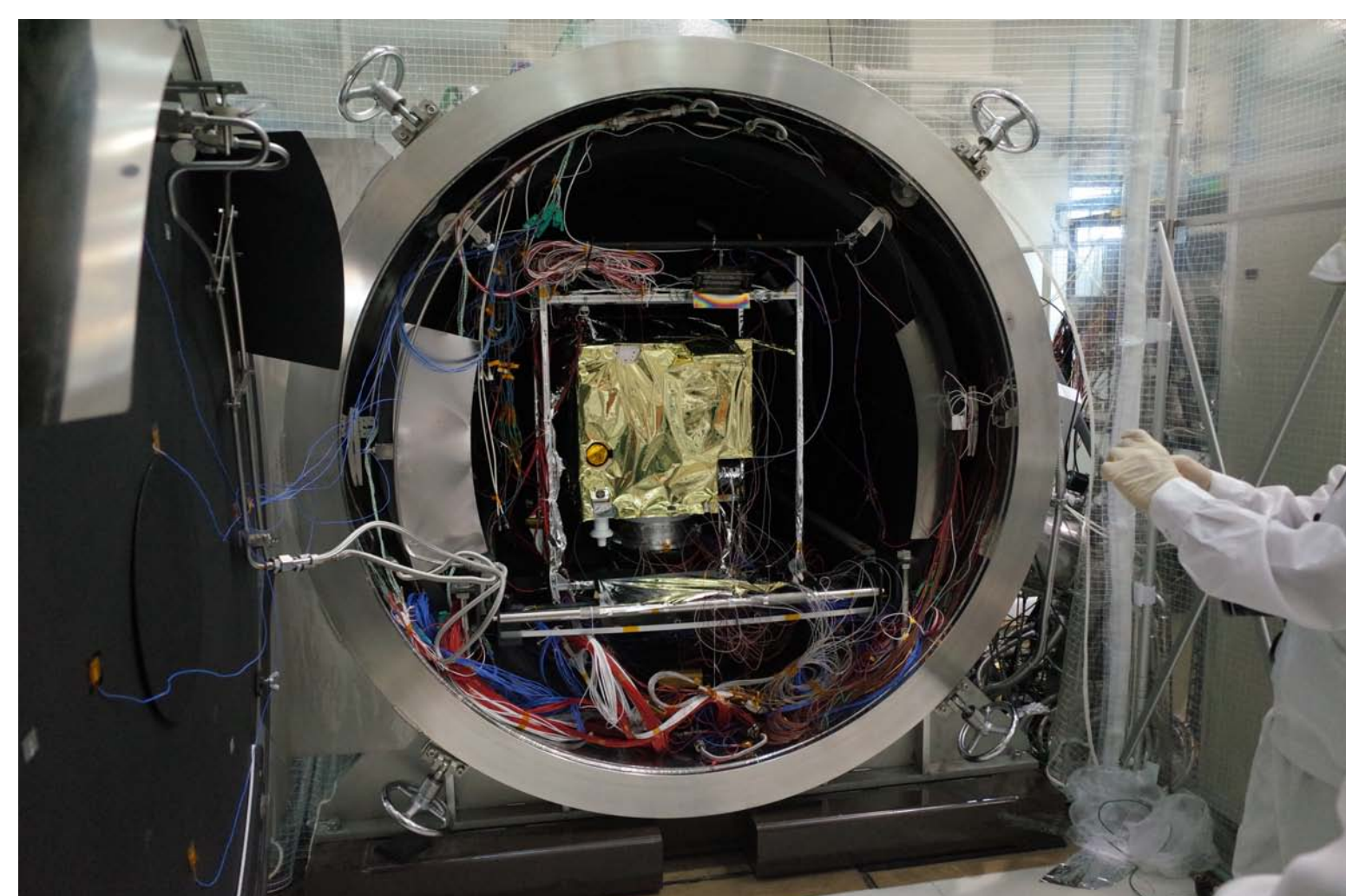
3. STM熱平衡試験

STMの試験結果を元に、熱数学モデルの校正を行なった。2つの試験条件(高温最悪/低温最悪)に合うように、探査機及び試験系の熱伝達係数を主にチューニングした。



4. FM熱平衡試験

FMを用いて熱平衡試験を実施し、熱数学モデルの校正を行った。XSSPAの無線出力15W中7.5Wが損失として衛星構体に散逸する効果を考慮することで、試験結果とよく一致するモデルが得られた。

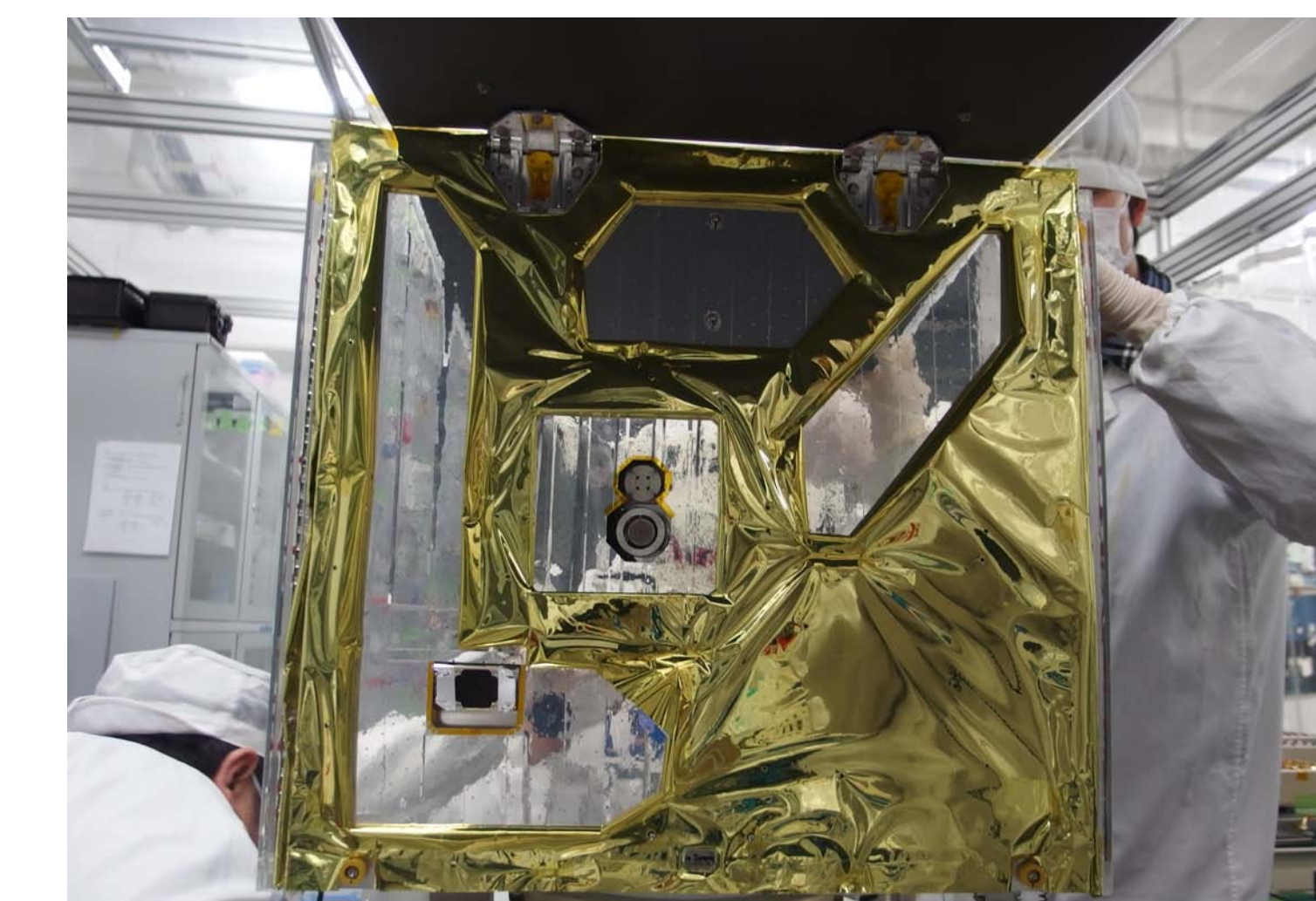


5. 軌道上解析・熱計装修正

FM熱平衡試験で校正した熱数学モデルを用いて軌道上温度予測を行った結果、軌道上での温度が全体的に高くなり過ぎることがほぼ確認となった。そのため、STM熱平衡試験後の解析結



果を基に予め用意されていた側面熱計装修正案を採用し、温度を下げたい部位を中心に銀テフロンによる放熱面を設けることによって、適切な温度となるようにした。

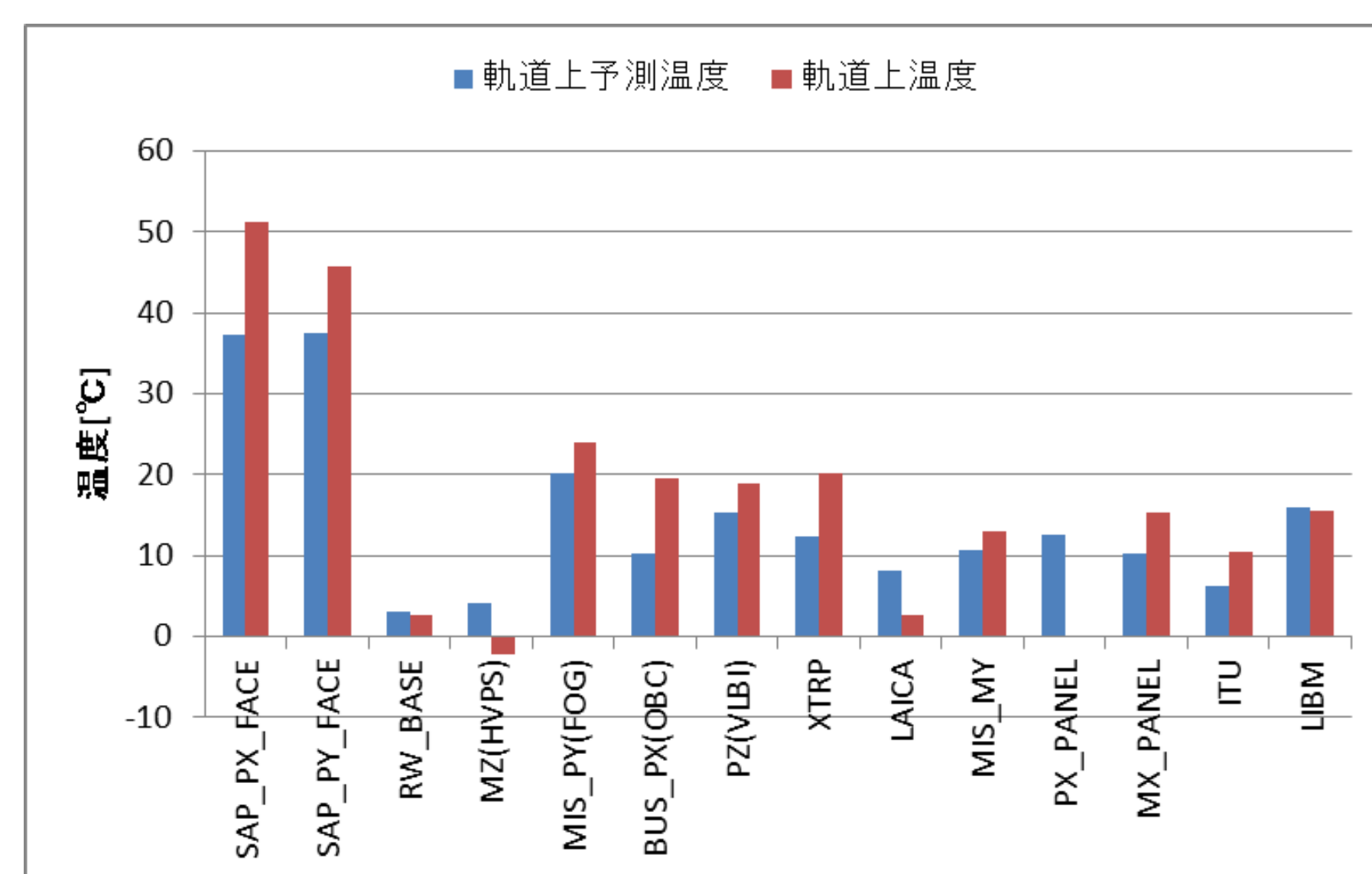


現在の状況と軌道上温度

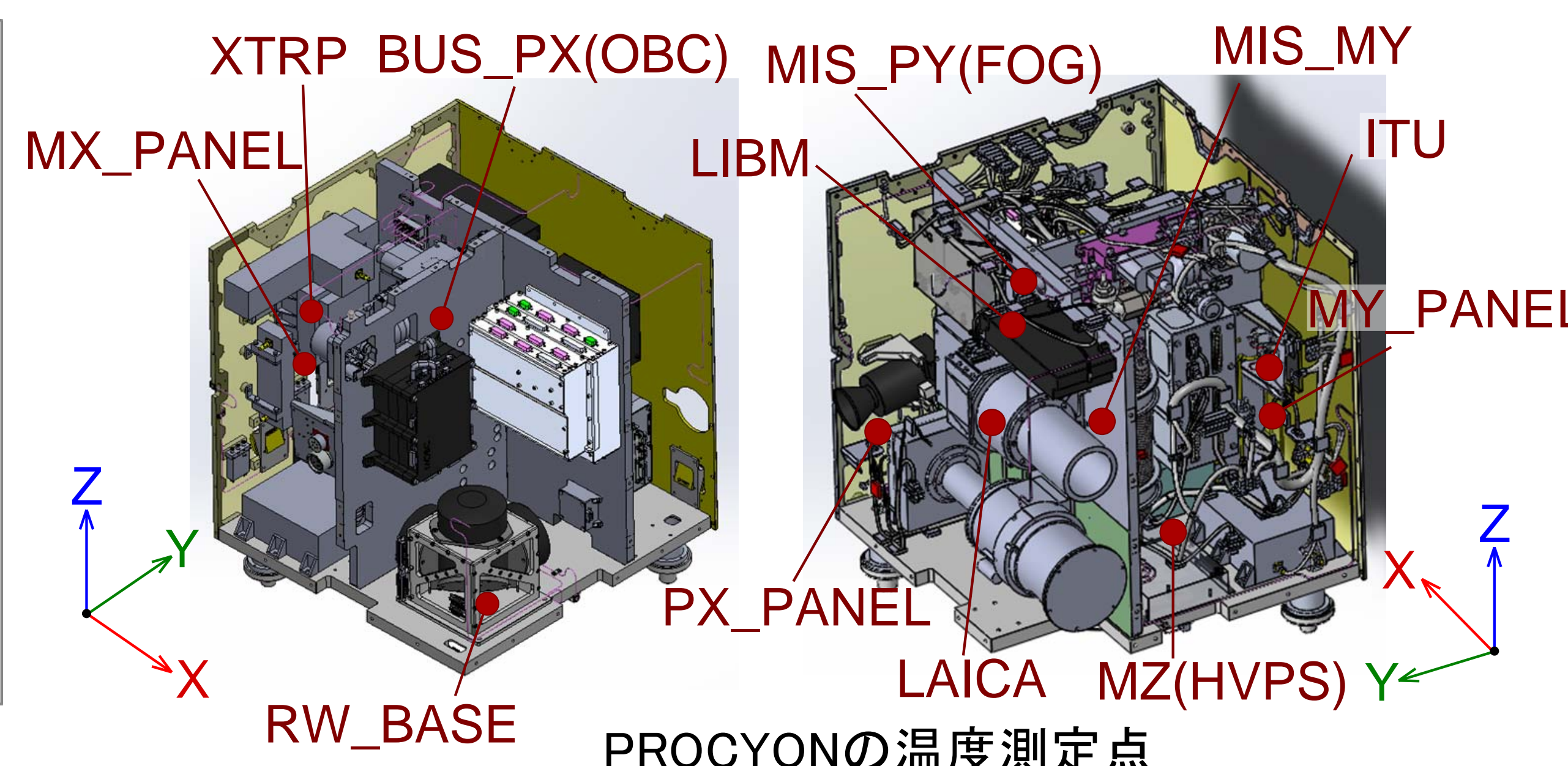
現在、PROCYONはクリティカルフェーズを終え、各機能のチェックアウトを実施中である。

太陽距離1AUにおいて、多くの機器温度が予測温度と10°C以内の範囲で一致を得た。今後、軌道上で得られた温度テレメトリを基に、熱数学モデルを高精度化していく。

PROCYONは地球スイングバイまでに高温最悪条件を経験し、小惑星フライバイの頃に低温最悪条件を経験する。



1AUにおけるPROCYONの軌道上温度と予測温度



PROCYONの温度測定点