

先進熱制御技術によるDESTINYミッションモジュールの熱設計



○岡崎峻 (JAXA/ISAS) 杉本理英 (ISAS/JAXA) 小川博之 (ISAS/JAXA) 川勝康弘 (ISAS/JAXA)

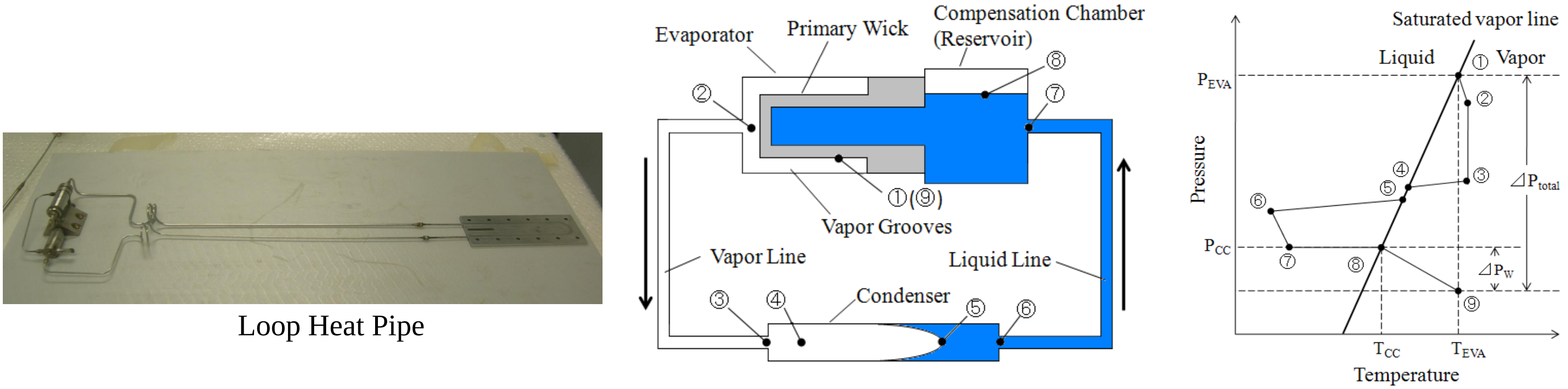
概要

DESTINYでは地球周回中は衛星の位置によって太陽光が衛星の様々な面に入射するため、各面で太陽光に対応した放熱面が必要になる。また、イオンエンジン用の大発熱機器を搭載しているため、機器発熱の放熱の為に大きな放熱面積が必要になり、ミッション部で大きな放熱面が必要になる。一方で、日陰中は機器保温のために多量のヒータ電力が必要になり、従来宇宙機と同じ熱設計方法では、多くの電力リソースを必要とする事になる。そこで、限られたリソースの中で熱設計を成立させるためにLoop Heat Pipe(LHP)を使用した熱設計を提案している。LHPは熱ダイオード性など高機能な性能を有した先進熱制御デバイスであり、ヒータ電力の削減に有効であると考えられる。日照・日陰中で機器の許容温度を満たし、熱設計に許容される電力量抑えるため、LHPのダイオード性を積極的に利用した熱設計の提案をする。

1. Loop Heat Pipe の熱ダイオード性を利用した衛星の熱設計

Loop Heat Pipeのヒートスイッチ性利用

Loop Heat Pipe(LHP)とは封入冷媒(作動流体)の潜熱を用いて熱を輸送するループ型熱制御デバイスである。従来のHeat Pipeと比較してLHPを用いる利点は高い熱輸送能力、重力への耐性、熱輸送経路の高い自由度、温度制御機能、シャットダウン機能を有している事が挙げられる。これら、LHPが有する利点を生かして熱設計に必要な電力リソースを減らす熱設計を提案する。



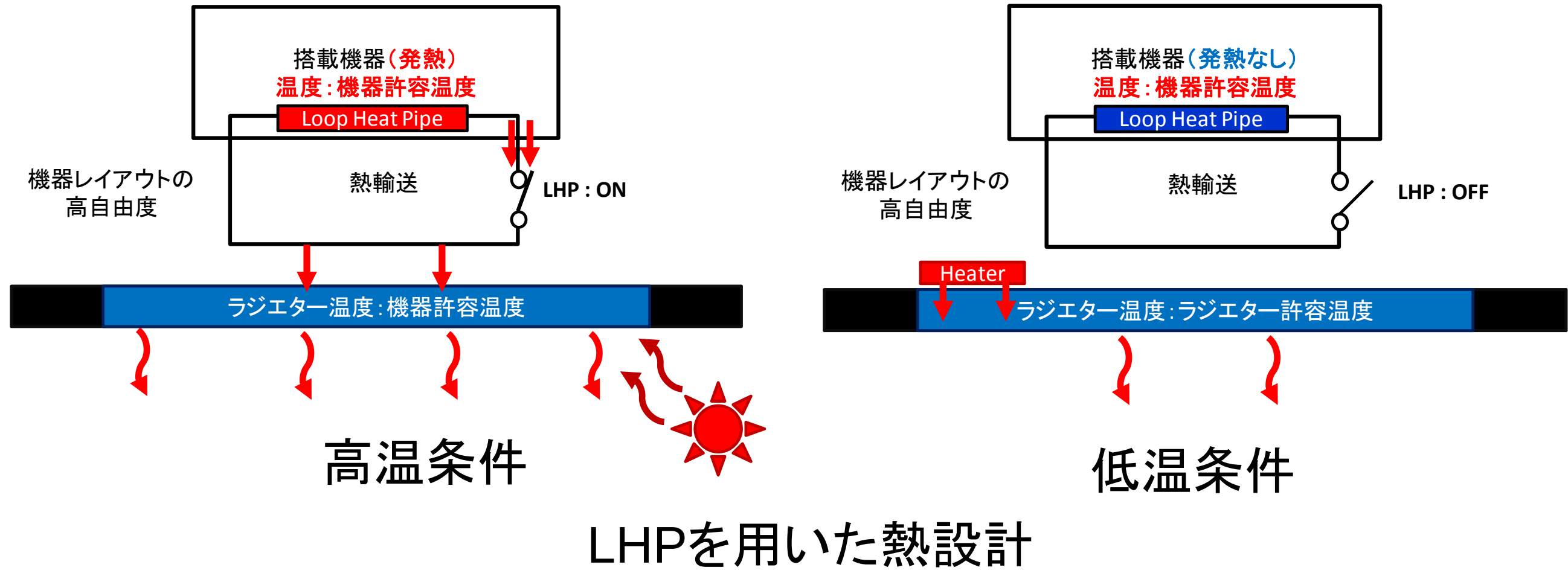
2. DESTINYの熱設計

DESTINYの機器は大発熱量である事と、太陽光が各パネルに入射する事から日陰時に機器がOFFになった際に大きなヒータ電力を必要とする。上記条件において、衛星システムの要求から日陰時に要するヒータ電力を300Wに抑える熱設計を目標にする。以下に日陰時に必要なヒータ電力300W以下を目標にした熱設計方針と簡易熱数学モデルを作成して計算を行った結果を示す。

①従来の衛星熱設計

衛星の機器発熱に必要な放熱面は最低限確保しなければならない。従来の衛星では、機器と放熱面を面で熱結合させる。このような熱設計方針を採用した場合、軌道上の高温条件では十分な放熱面を設け、低温条件で大きな放熱面を持った機器の許容下限温度を下回らない十分なヒータ発熱が必要になる。

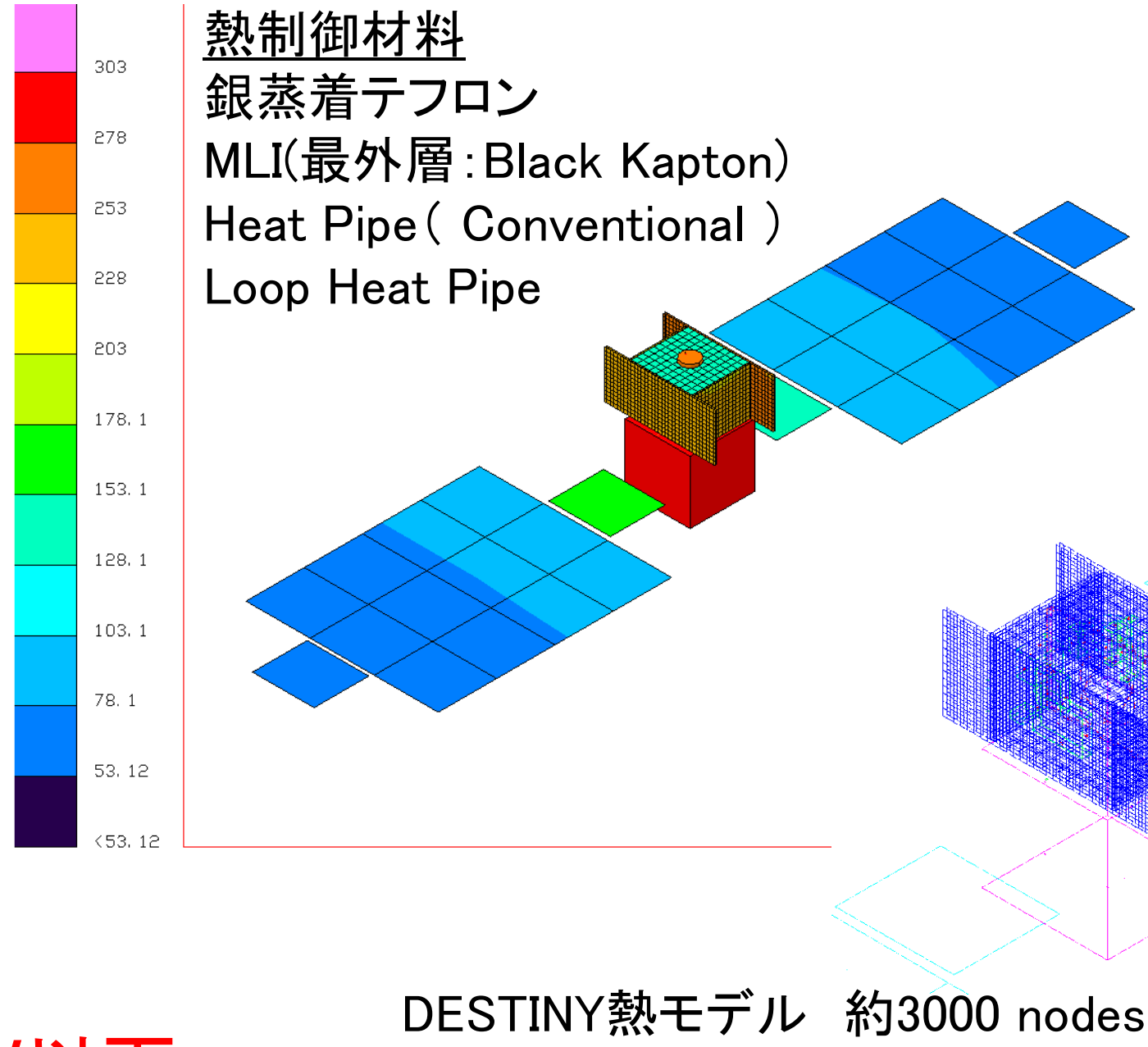
日陰時に必要なヒータ電力: 約580W



②LHPのヒートスイッチ機能を利用した熱設計

日陰時のLHPのヒートスイッチ性を使用する事によって、機器動作時(発熱時)はラジエーターと結合し排熱機器非動作時(発熱なし)はラジエーターとの熱結合を切ることが可能になる。よって、ラジエーターは、高温時は機器許容上限に合わせて設計し、低温時の保温には機器許容下限でなく、ラジエーターパネル許容最低温度(-60deg-Cもしくは-100deg-C)まで温度を下げる事が可能になる。結果、低温時に必要なヒータ量を抑制する事が可能になる。

これらLHPを大発熱量の機器に採用し、放熱面の最適化を行い、ヒータ電力を削減した結果を表1に示す。太陽光が当たる±X面は極力放熱面を小さくし、太陽光入射の少ない±Y面を主放熱面として採用している。±X面はHPにより熱結合させている。また、LHPの配管自由度を生かし、放熱面を機器搭載面と異なる面に設ける事も可能である。本方針で熱設計を行った結果、機器許容温度を満たしつつ、日陰時のヒータ電力を300W以下に抑える解析結果を得た。今後は、SAPの影響等を考慮した熱モデルを作成し、より詳細なモデルで要求に応える熱設計を確立していく。



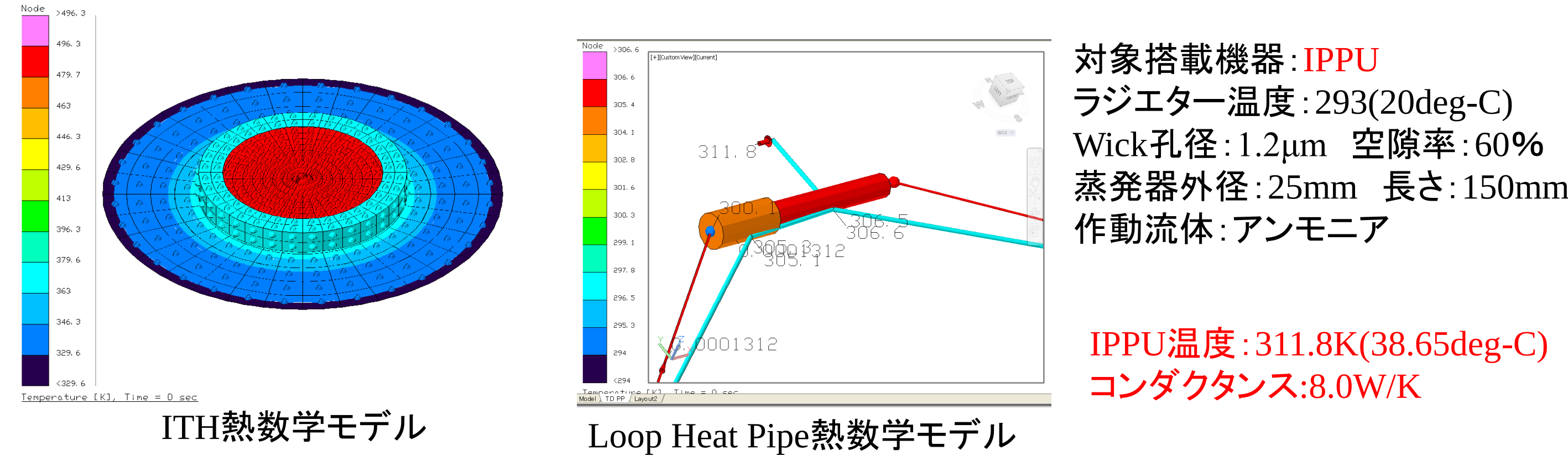
日陰時に必要なヒータ電力: 300W以下

③Loop Heat PipeとHeat Pipeを用いた各パネルの太陽光入射

5方向からの太陽光入射の可能性がある場合には、各パネル独立熱設計を考えると、各々のパネルで『太陽光+機器発熱』の放熱が必要になる。そこで、放熱に考えられる面はすべて熱結合させて1つのラジエーターのように考える。この場合、1面に太陽光入射がある場合には、他の面で機器の放熱を行う事ができる。よって、放熱面全体で太陽光入射の為に必要な放熱面積は最小限にする事が可能になる。日陰時に、日照時と同じパネル温度を保とうとした場合、1方向からの太陽光入射に相当するヒータ量を入力する事で対応できる。例えば、すべての機器を-Z面に搭載した場合、保温用のヒータ量は280W以下にできる見込みである。また、放熱面積の最適化を行う事でさらにヒータ電力を削減できる可能性がある。

Loop Heat Pipet搭載の最適化(機器の詳細モデル, LHPのThermal desktop model, 性能予測数値計算プログラムの作成)

Loop Heat Pipeの最適な搭載位置・方法を検討する為にITHの詳細な熱数学モデルの作製を行った。また、本衛星の熱設計ではLoop Heat Pipeの性能予測が衛星全体の設計に大きな影響を与える。そこで、衛星に組み込めるようにLoop Heat Pipeの熱数学モデルの作製を行った。また、インハウスで作製したLoop heat Pipeの性能予測プログラムを作製しLoop Heat Pipeの性能予測・特性把握の研究を行っている。



今後はさらにバス部を含めた詳細な熱モデルの構築, LHPを用いた熱設計の為にハードウェア設計, LHPを用いた実験による機能確認などにさらに詳細な検討を進めていく。