

# 将来宇宙機に適用する熱制御技術の開発

宇宙科学研究所 熱・流体グループでは、将来ミッションのより厳しい熱環境や少ないリソース下でより高度な熱制御要求に対応するための新しい熱制御技術の研究を大学と連携して行っています。これらは将来の内外惑星探査や望遠鏡、小型科学衛星に必要な技術です。

## Ω型グループヒートパイプ、熱制御材の電子線劣化の研究

### <Ω型グループヒートパイプ>

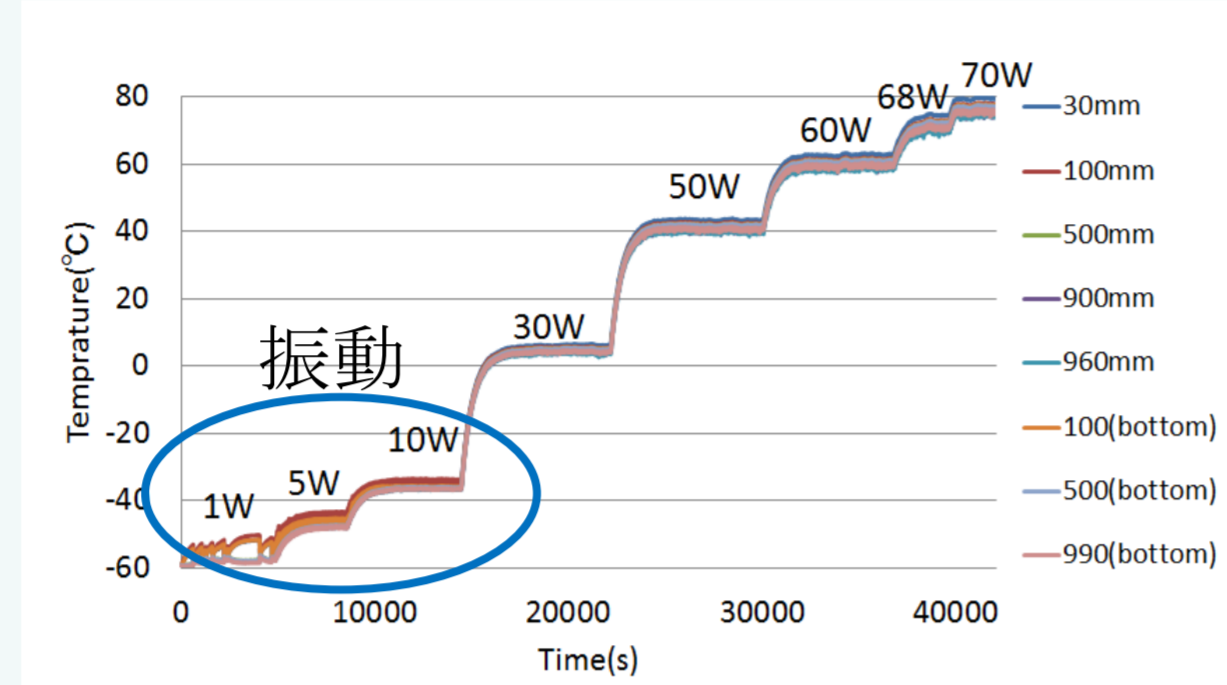
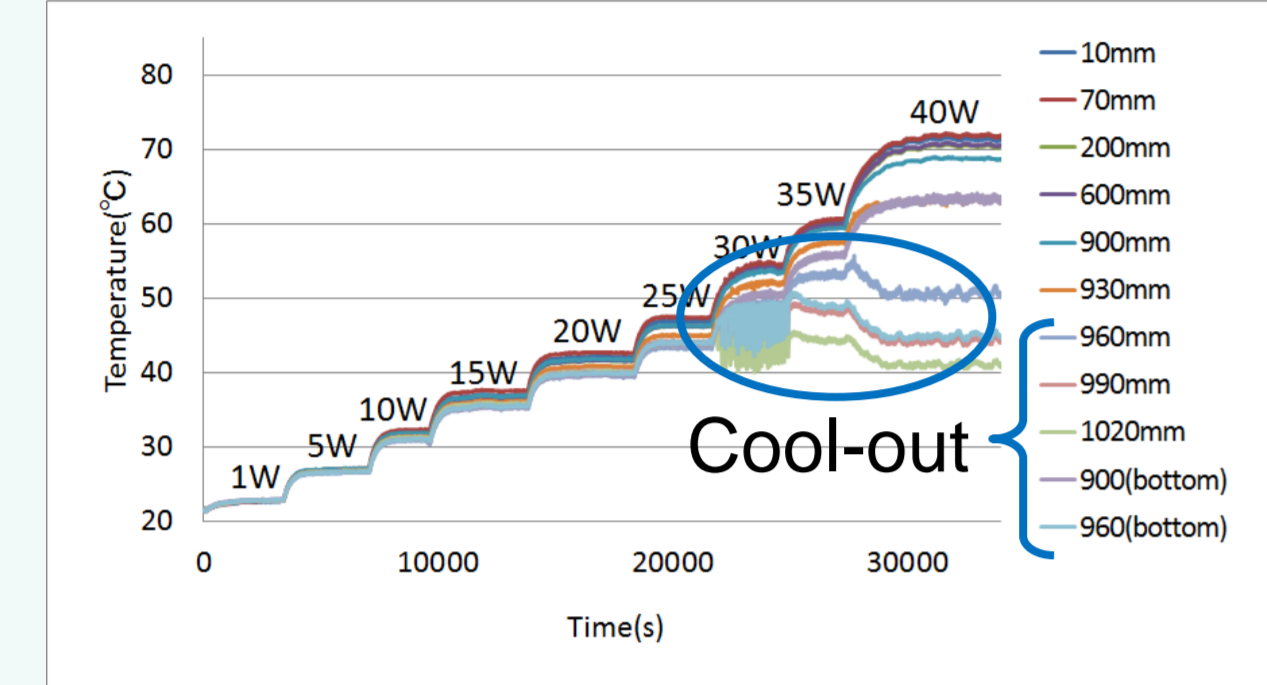
様々なグループ型をもつグループヒートパイプの中でグループがΩ型のヒートパイプ。他のグループ型と比較して、気/液間の接触面積が小さいため、その間の剪断応力が小さく高い熱輸送能力を持っている。



### <課題>

- ・衛星に使用されているものの、地上試験でスムーズに作動しない場合がある。そこで、1G環境での検証に問題があるのか、製品自体に問題があるのか判断したい。
- ・実際に使用されている製品(作動流体:アンモニア)において低温環境での性能を確認したい。

→ヒートパイプの傾き、周囲の温度環境を変更



- 室温**
- ・水平に配置した場合、熱入力が増加すると凝縮部に液溜まりが形成され、動作する実効的な長さが減少する。
  - ・傾斜をつけた場合、スタートに必要な熱入力量が5~30Wと変化するものの問題なく作動した。
- 低温**
- ・傾きが小さく(~10度)、熱入力も小さい(30W以下)場合、蒸発部と凝縮部が連動して振動した。
  - 蒸気が凝縮部に到達した際には作動し始め、冷やされた液が蒸発部に戻ると蒸発が停止する動作を繰り返していると考えられる。

### <熱制御材の電子線劣化>

衛星開発に使用される熱制御材について、放射線照射試験が行われてきた。しかし、放射線量は軌道によって大きく異なる。そこで、放射線量が短期間で比較的多い軌道上(今回はERGにおける照射量を用いた)を模擬して、特に電子線による劣化を調べた。<試験条件:1MeV電子を10<sup>12</sup>/s・cm<sup>2</sup>で照射>

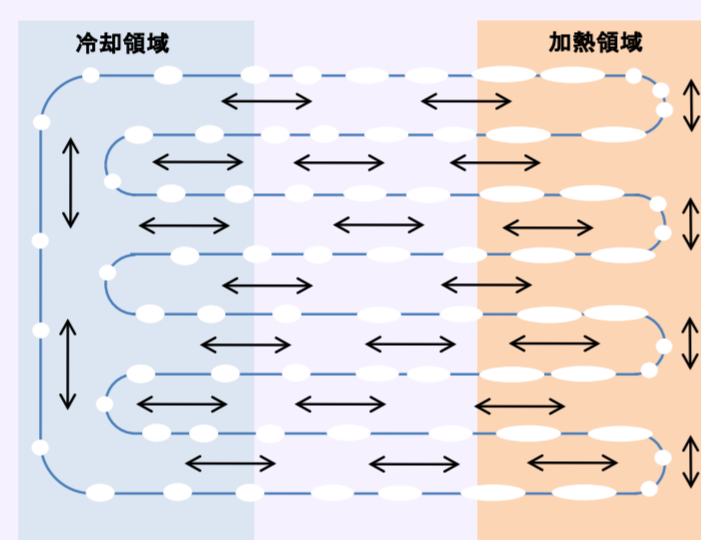
材料	観察	表面導電性	熱光学特性
Black Kapton	変化なし	変化なし	変化なし
White paint (UPI White)	LT47(噴き付けタイプ) →照射直後、青色に変色  LT48(高温焼き付けタイプ) →変化なし	変化なし	変化なし
ITO付 AgTeflon	接着面の浮き →1250s時点で浮き発生。 →両面テープで貼付けの場合、材質によらず浮きが顕著。 →シリコン系接着剤(RTV)では浮き減少  AgTeflon自身の亀裂、破損 →5000s後から、亀裂が発生。徐々に増加。20000sでは破損。 →製造メーカーによる劣化の差が生じた。	0s 1250s 5000s 10000s 20000s	ITOが切れた箇所、白濁箇所はなし  電子線照射前後でおよそ2桁程度、増加する。  ITOの厚さの違いによって、差が生じた。

## 自励振動ヒートパイプ(OHP),フレキシブルヒートパイプの研究, RTGシステムの検討

### <自励振動型ヒートパイプ(OHP)とは>

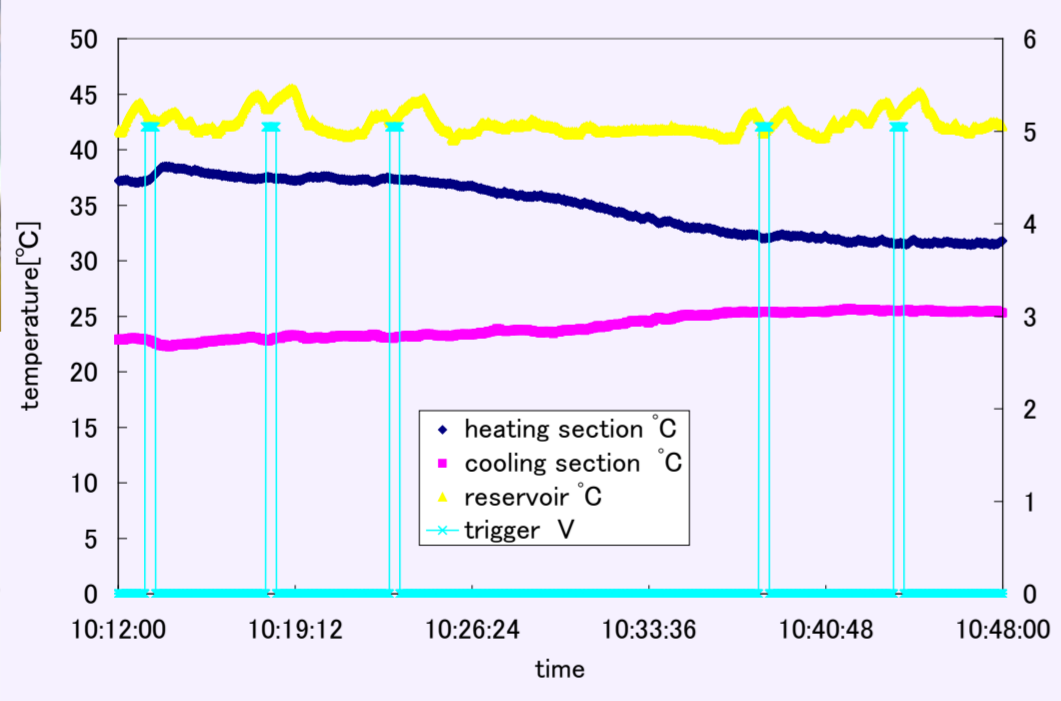
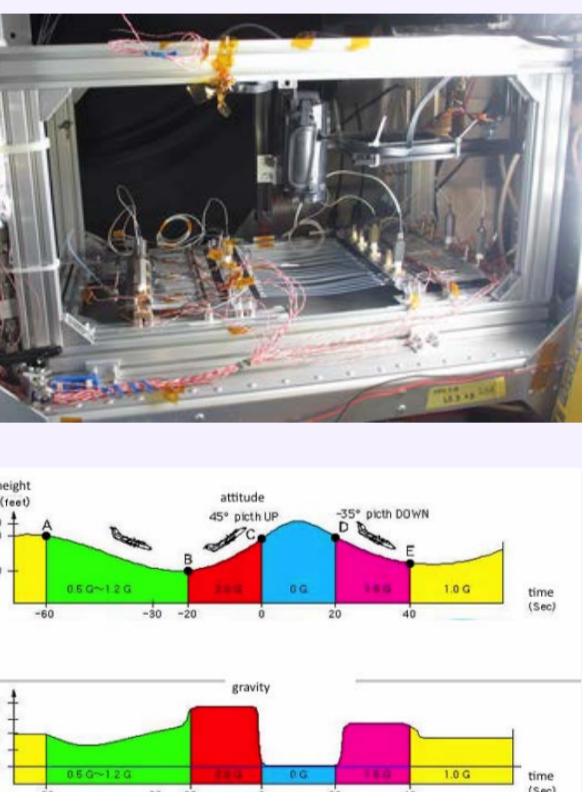
#### 作動原理

加熱部と冷却部とを十数回往復する細管で結んだヒートパイプ。細管の中に、全内容積の半分程度の容量で封じ込められている冷媒が、加熱部での蒸発・冷却部での凝縮を繰り返して、連続的な圧力振動により駆動される。このように冷媒が自励振動によって伝熱面間を往復することにより、(主に潜熱によって)熱輸送を行う。



#### OHPの利点

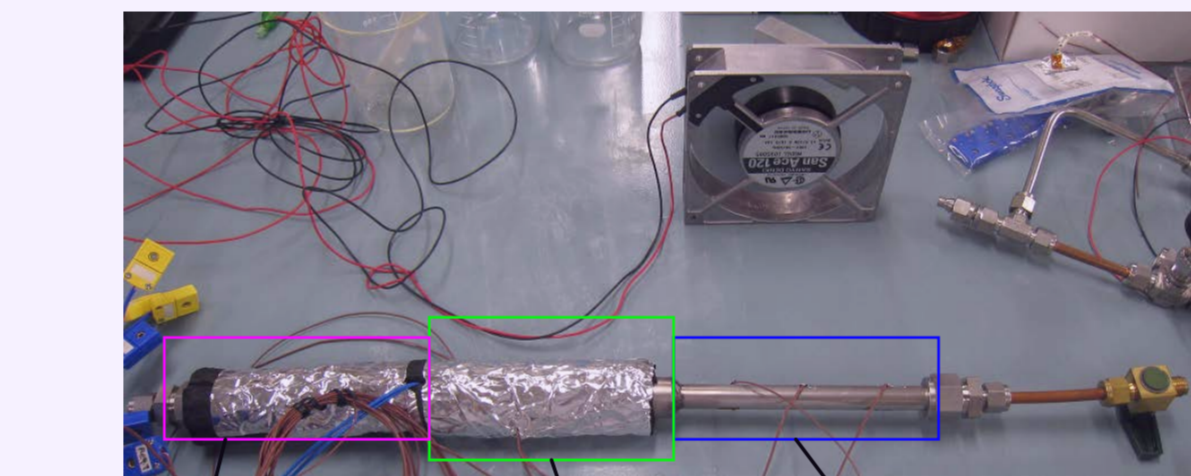
- ・細管で構成されているため、伝熱面積を大きくとることができ、高い熱輸送能力が得られる。同時に、薄型・軽量化が可能である。
- ・ウィックを使用しない単純な形状であるため、様々な形状に加工・変形できる。
- ・リザーバ(液溜め)を取り付けることで、温度制御可能な熱制御デバイスとなる(可変コンダクタンスOHP)



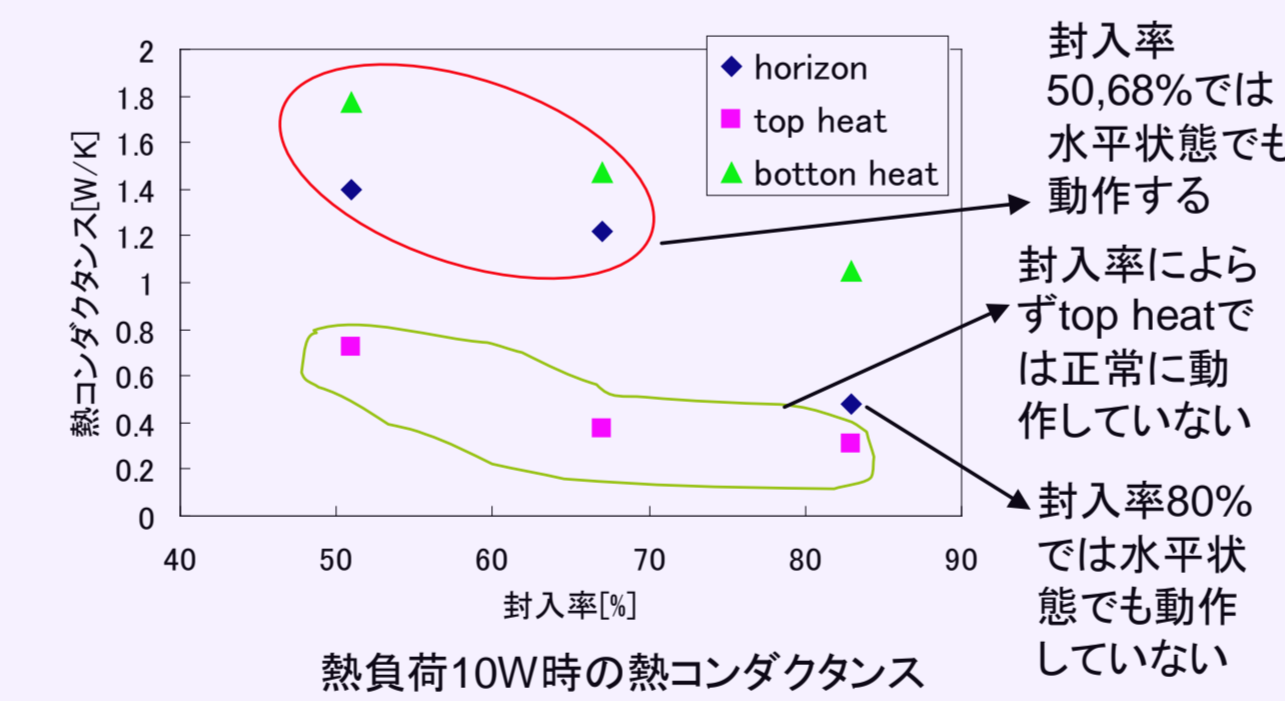
微小重力環境下でもOHPとして機能していることが確認できた

### <フレキシブルヒートパイプの研究>

ヒートパイプ自身が振動・熱歪を吸収できるようにしたのがフレキシブルヒートパイプ。宇宙用フレキシブルヒートパイプは米・露では開発されているが日本では開発例がない。今年度は、SUS製のフレキシブルな管の中にSUS製メッシュを入れたFHPにて作動流体の封入量及びヒートパイプ設置条件をかえて性能評価試験を行った。



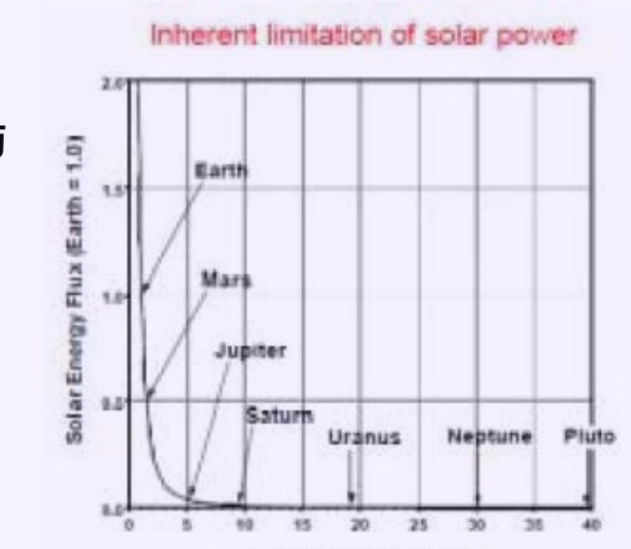
加熱部 ヒータ取り 断熱部 フレキシ部分 冷却部、ファンで強制空冷り付け 作動流体:HFC134a



SUSメッシュウィックのフレキシブルヒートパイプがヒートパイプとして動作することが確認できた。

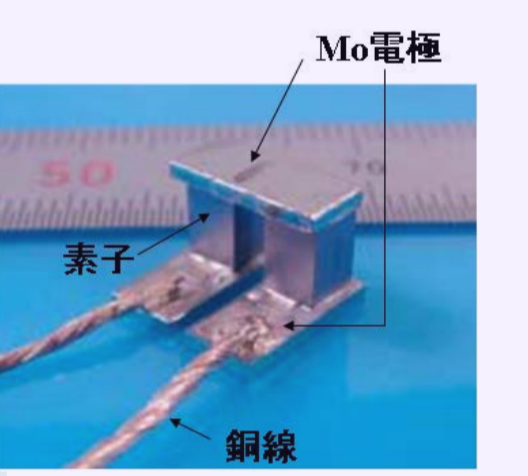
### <RTG (Radioisotope Thermoelectric Generator) システムの検討>

木星以遠では、太陽光エネルギーの減衰が著しい  
・数年間以上の長期間に亘る電力供給が必要



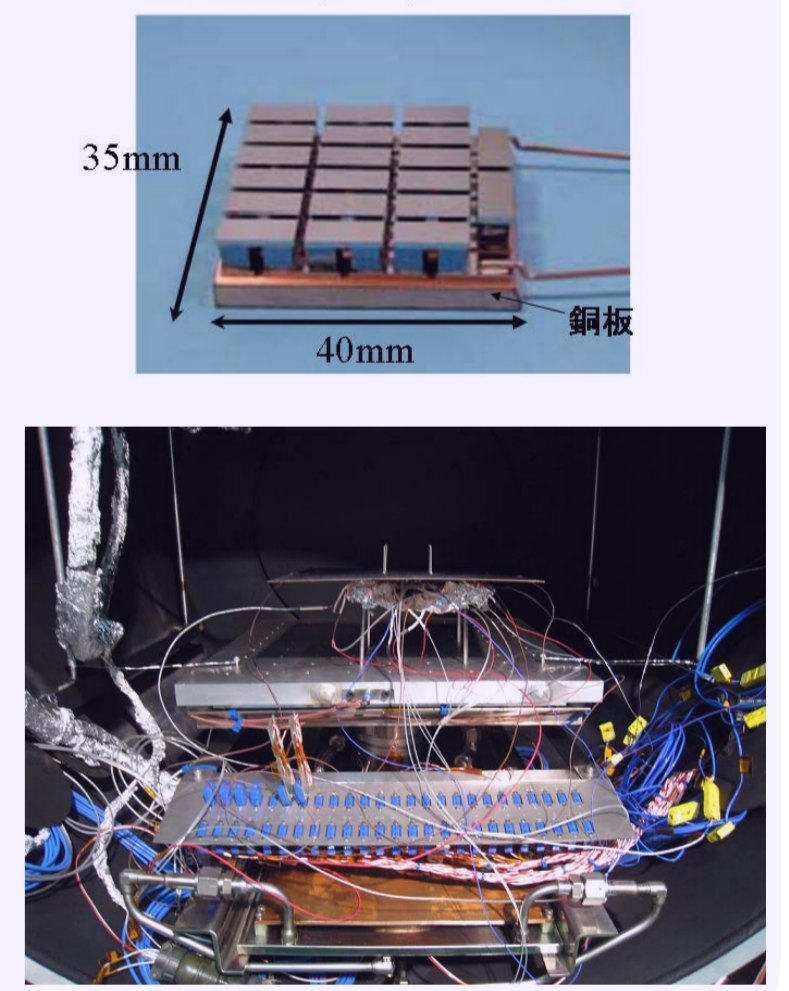
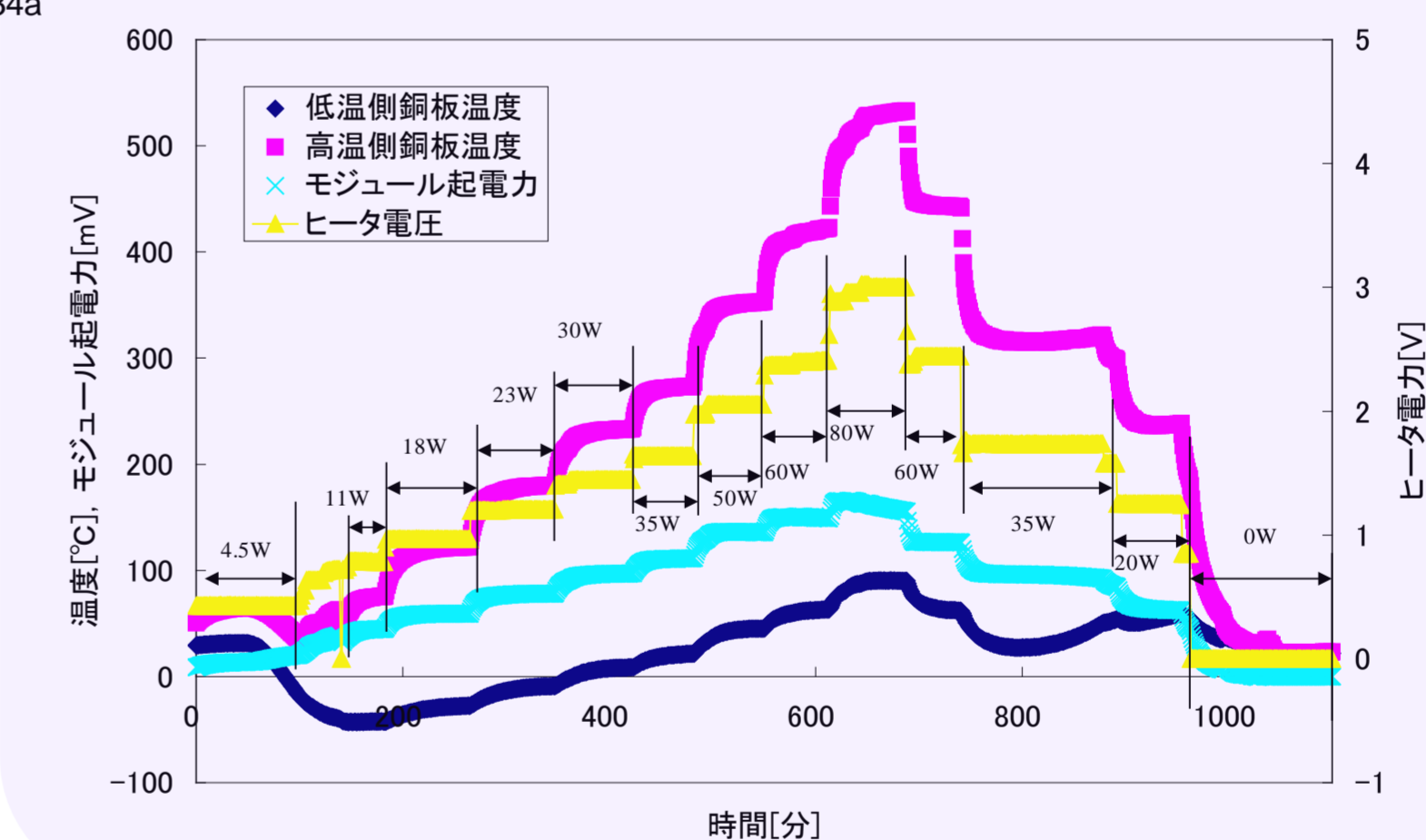
#### RI (Radio Isotope) 発電の利用

- ・PuやSrなどのRIの崩壊熱を電気エネルギーに変換して一次電池として利用
- ・米やロシアでは1960年代から宇宙電源として用いられてきた



- ・熱電変換素子
- ・800K以上の高温領域では、Si-Ge型が適している
- ・過去にも宇宙用として使用された例あり(ガリレオ・ボイジャー等)
- ・国内での開発は殆どなされていない(←民生用は温度範囲が低いため、適する材料が異なる)

#### 熱電変換システムの熱真空評価試験

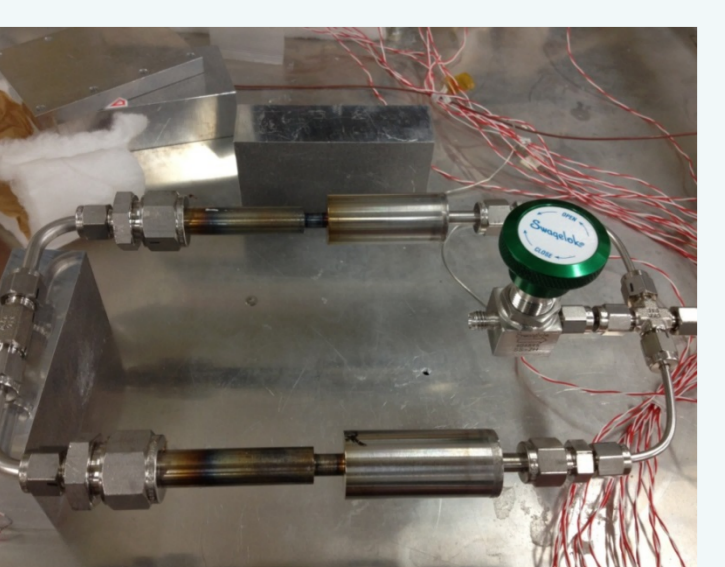
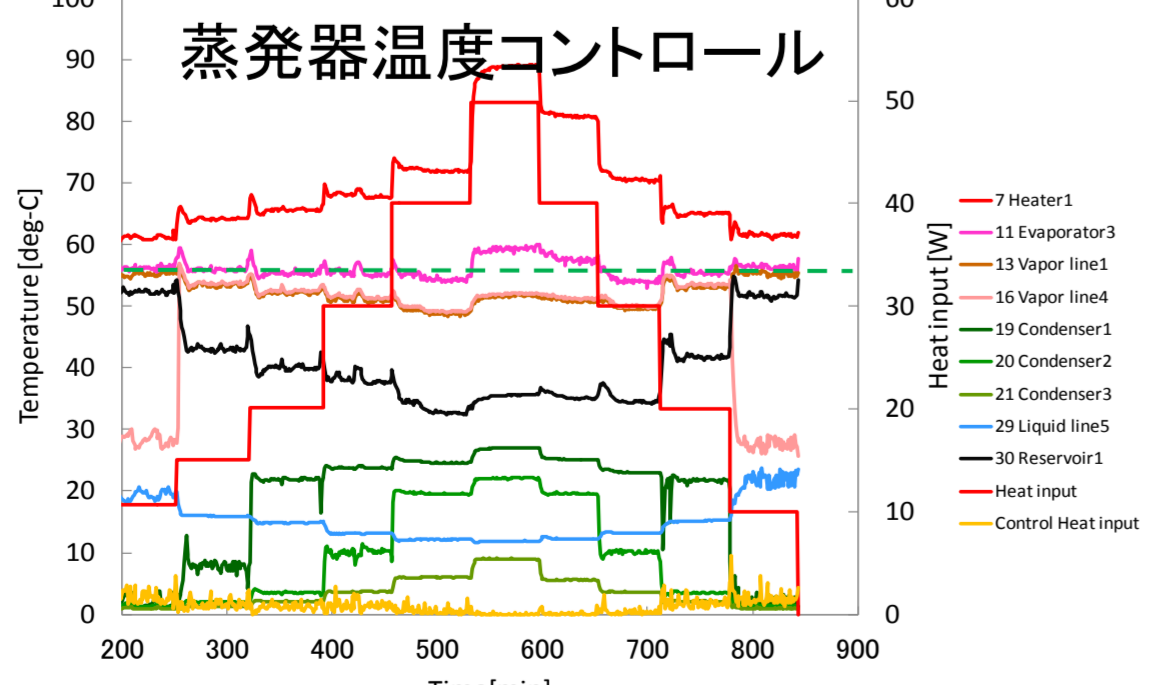


## 宇宙用ループヒートパイプ(LHP),ヒートパイプ, Heat Switch, PCM,低温ラジエターの研究

### <ループヒートパイプ(Loop Heat Pipe: LHP)とは>

LHPは、相変化を利用して大量の熱輸送が可能な熱制御デバイスであり、毛細管力により作動流体を循環しているため、軽量かつ信頼性が高い。その特徴は、次のように大きく4つ挙げられる。

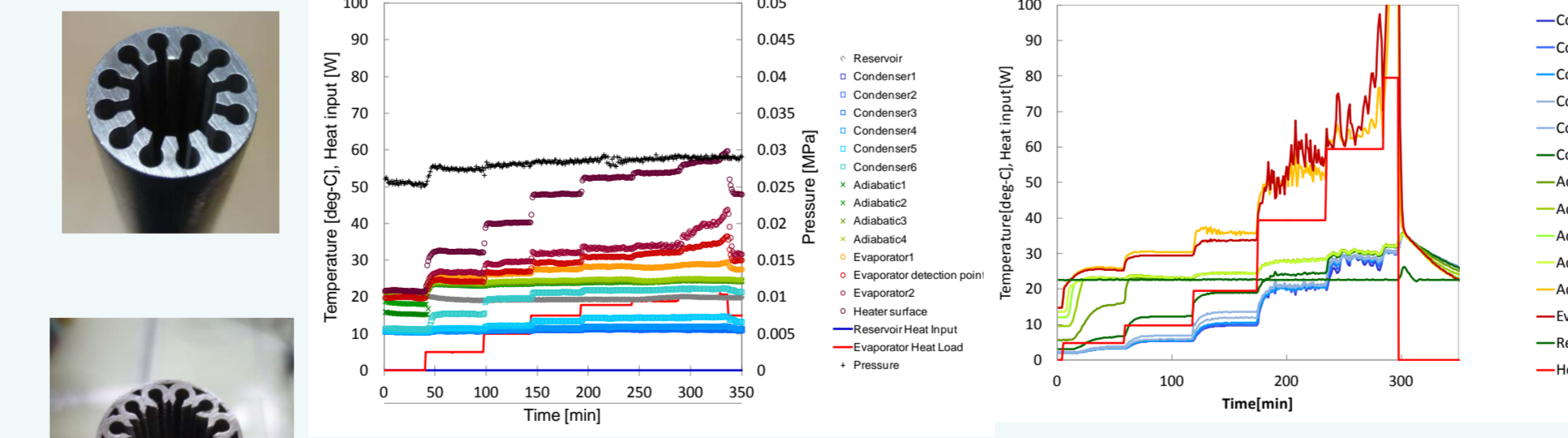
- (1) 複雑な経路を持つ排熱パスが容易に可能
  - (2) 重力下で動作可能
  - (3) ループの動作温度を小電力で高精度に制御が可能
  - (4) 冷媒の循環を止めることができ、保温ヒータ電力低減が可能。
- 高度化するミッションに自在に対応するためには必要不可欠な技術



マルチエバポレータを有したLoop Heat Pipe

### <高機能ヒートパイプ>

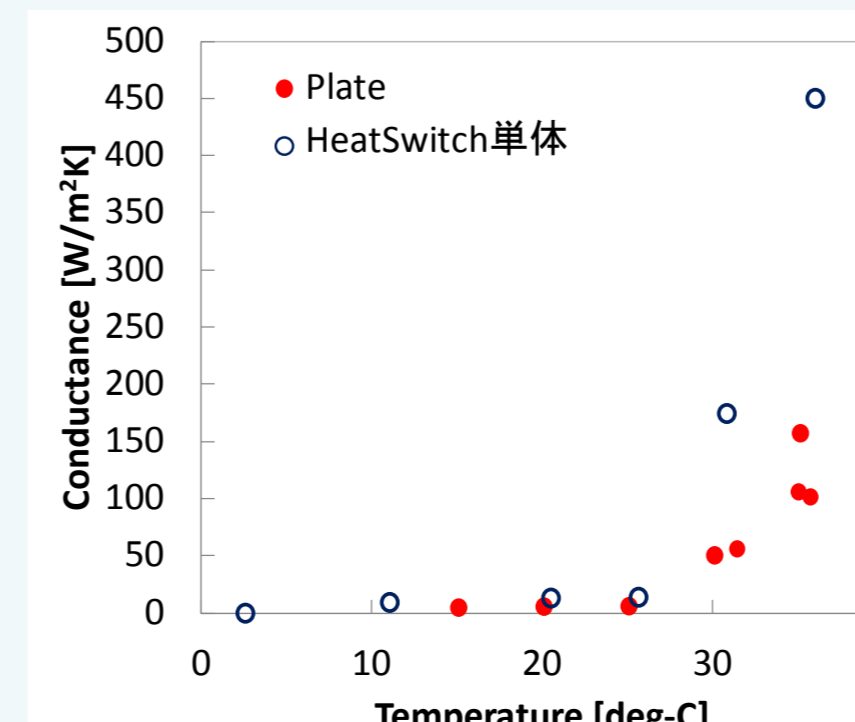
従来より宇宙機に使用されているヒートパイプをインハウスで作製しその特性の評価を行っている。そのデータをベースに高度な機能を有したヒートパイプの研究を行っている。



矩形グループ (Q-MAX:20[W]) → アーテリグループ (Q-MAX:40[W])

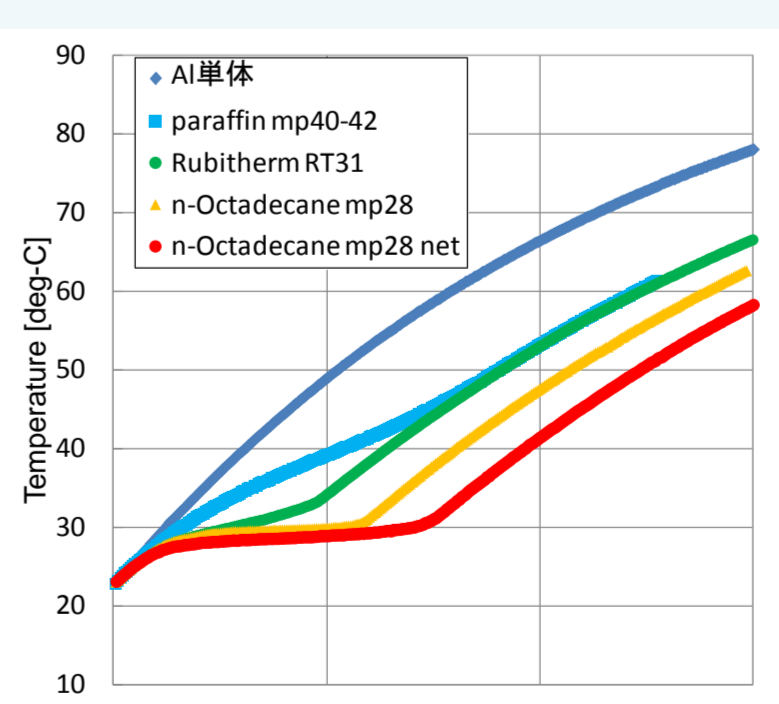
#### <Heat Switch>

- 100[g/個]と小型の機器搭載型Heat Switchを製作。
- ・Heat Switchの温度コントロール性についても確認できた。



### <Phase Change Material>

熱伝導の良い容器を開発を達成し平板での容器の作製・実験



130gのPCMで5Wの熱負荷に対して65分間 28°C+1°C以内に温度制御アルミ21kgと同等の蓄熱をPCM 0.1kgで実現

### <極低温高放射率ラジエター>

極低温になると常温程度で高放射率を有していた黒色塗料表面等の表面放射率が急激に低下する事が知られている。低温でも高放射率を期待できる構造としてキャビティを形成したオープンハニカムを作製し、その表面光学特性を取得した。

