

宇宙科学研究所 熱・流体グループ

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。

宇宙用ループヒートパイプ(LHP)の研究

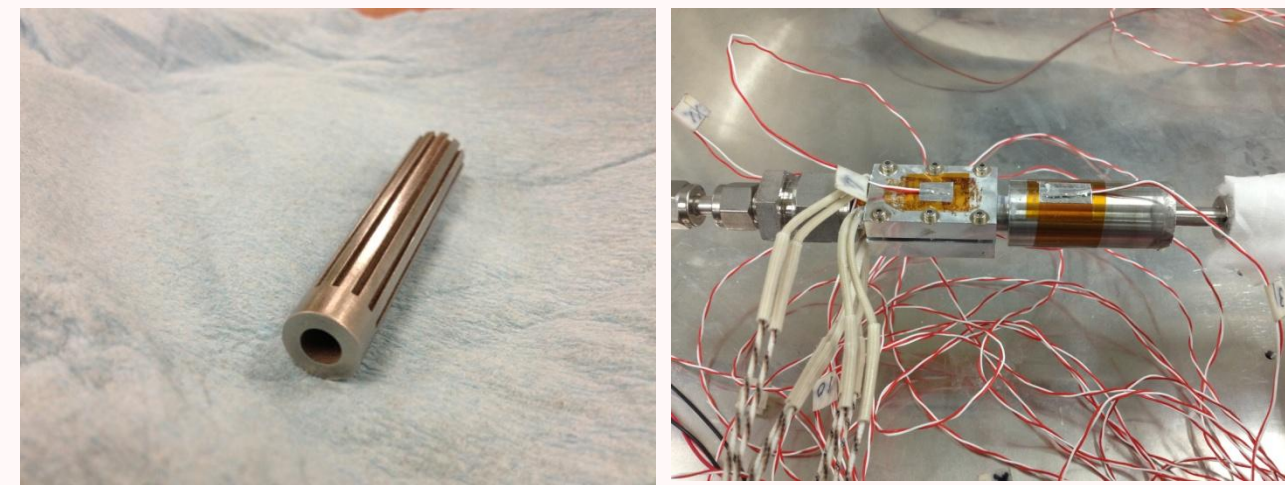
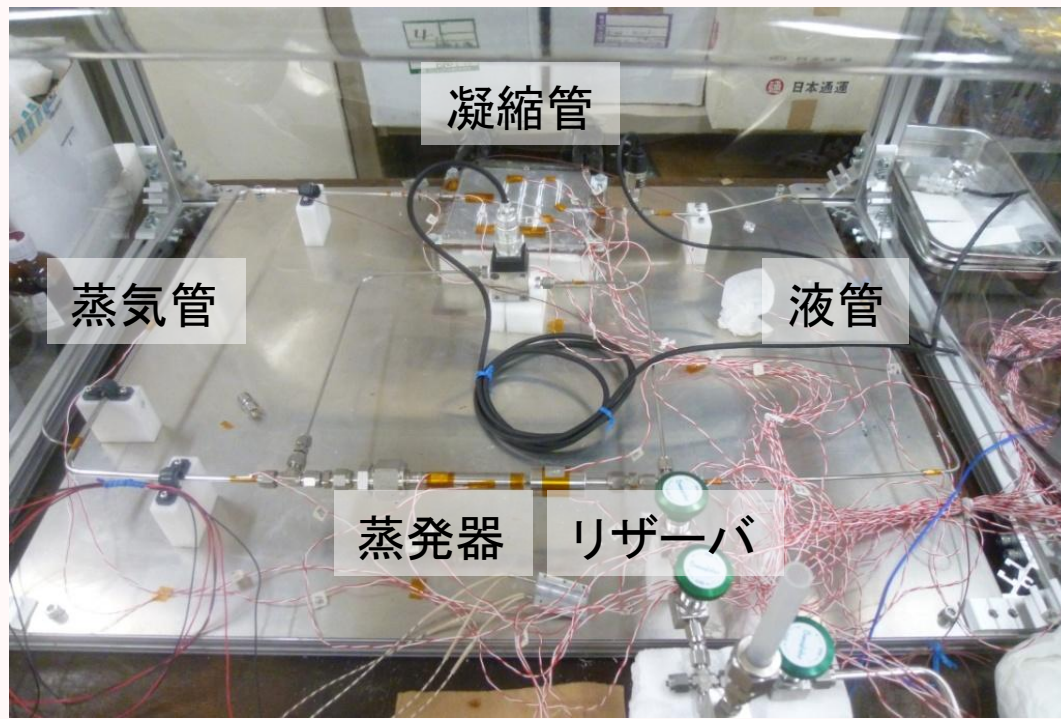
＜ループヒートパイプ(Loop Heat Pipe: LHP)とは＞

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。

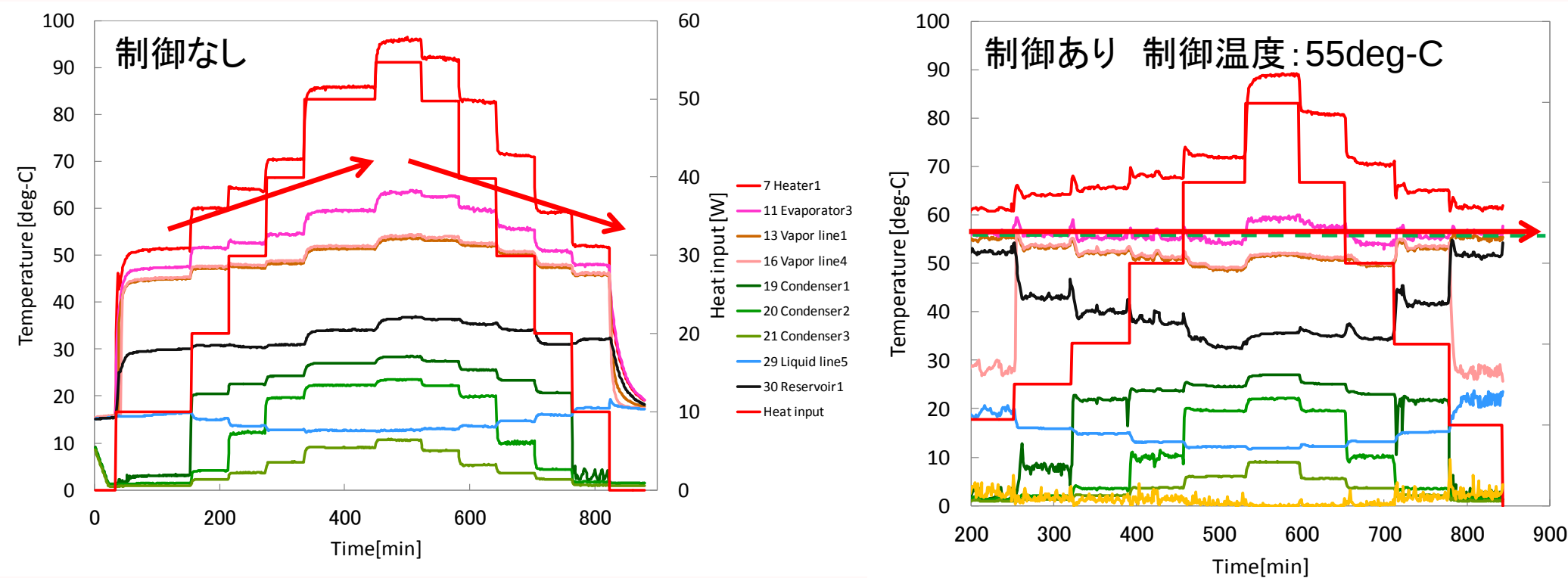
- (1) 蒸気管と凝縮器が**スムーズな管**で結ばれているため、**複雑な経路を持つ排熱パス**が容易に可能であり、かつ軽量である。スムーズな管であればよいので、特別な加工の必要はなく、普通の管の曲げ・溶接工事でよい。
- (2) **重力下で動作可能**であり、複雑な経路をもつ排熱パスであっても地上で試験が可能。
- (3) リザーバを温度制御することで、ループの動作温度を**小電力**で高精度に**制御が可能**。
- (4) リザーバの温度(圧力)を制御することで**冷媒の循環を止める**ことができ、保温ヒータ電力低減が可能。

これらは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である。

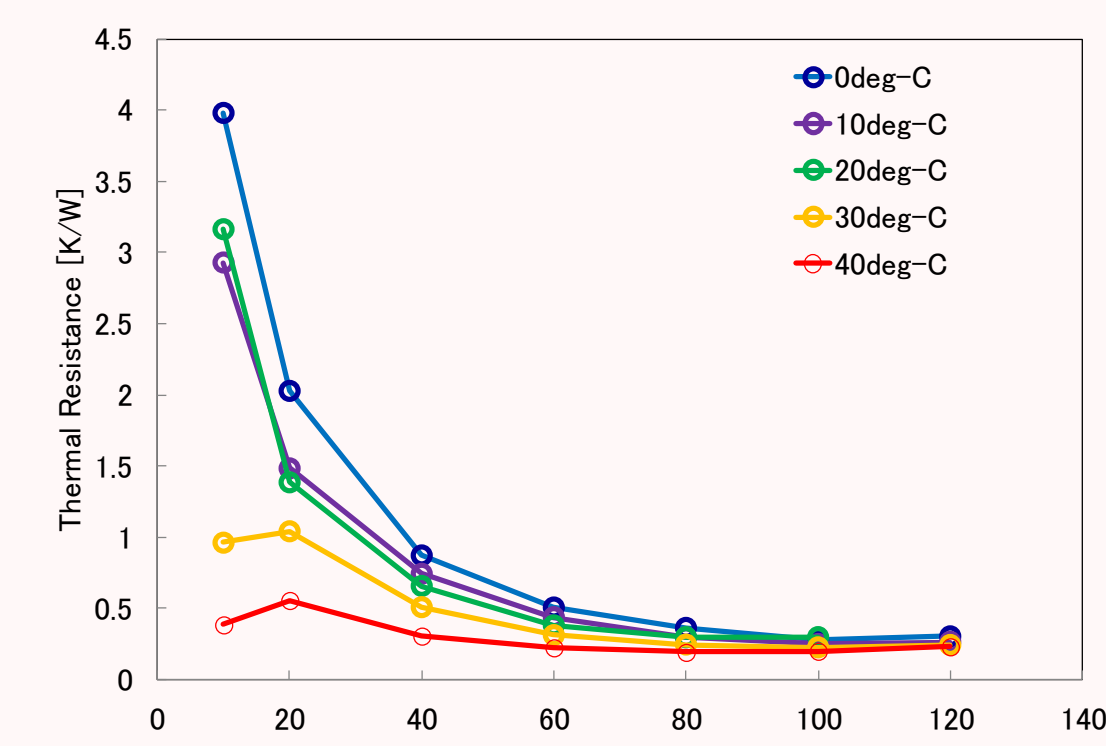
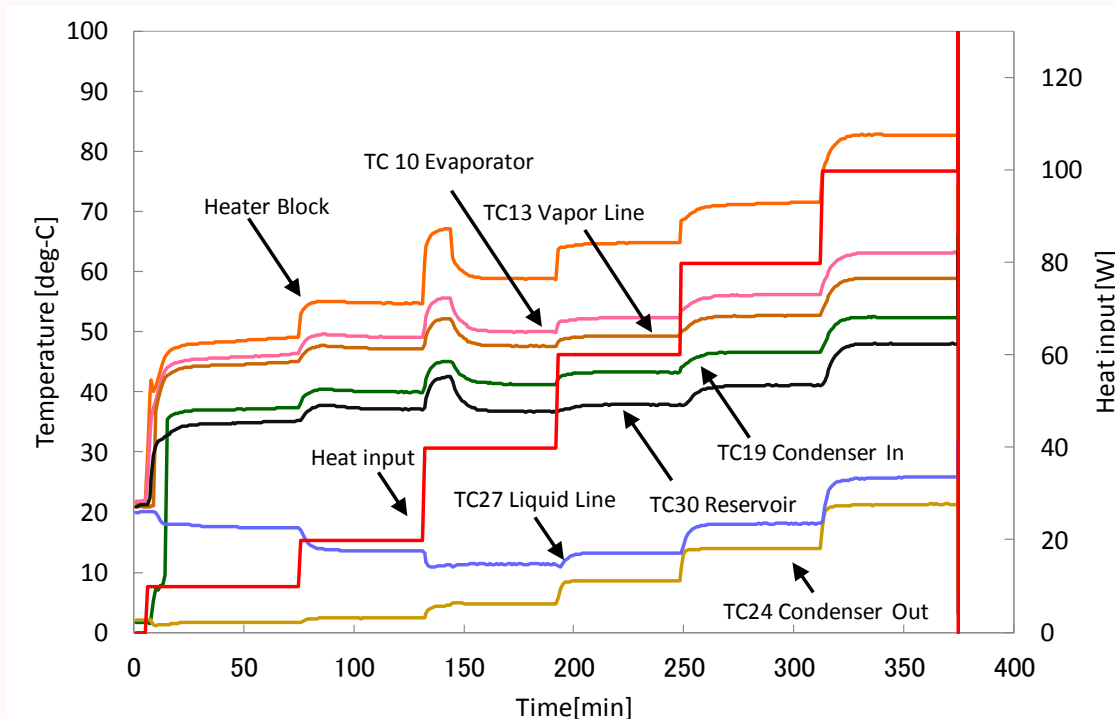
＜ループヒートパイプ温度制御試験とインハウスでのSUSwickLHPの開発＞



高空隙率 細孔径の
高性能SUSウィックを搭載したLHPの開発



蒸発器(搭載機器)温度を検出しリザーバに取り付けたヒータでの蒸発器温度コントロール



SUSウィックLHPの熱抵抗結果

宇宙用自励振動ヒートパイプ(OHP)の研究

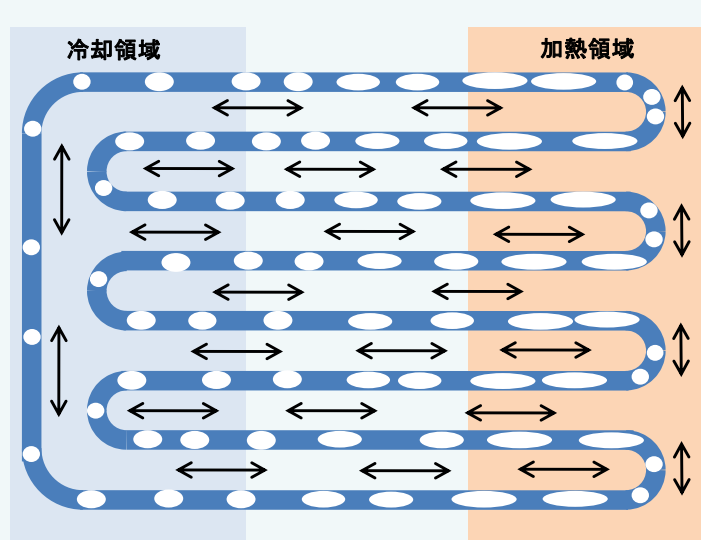
＜自励振動型ヒートパイプ(OHP)とは＞

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、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**)



＜可変コンダクタンスOHPの圧力測定試験結果＞

熱負荷を増していくに従い、冷却部の温度と共に加熱部の温度も上昇している。OHP内は加熱部への熱負荷上昇と共に圧力が増加しており、OHP内圧は加熱部温度での飽和蒸気圧になっていると考えられる。

OHPの圧力振動の振幅がリザーバ無しの実験結果より小さいのはリザーバによる圧力制御が行われているためである。

OHP内圧とリザーバ内圧は常にほぼ等しくなっていること、圧力値がR134aの40℃における飽和蒸気圧値に近いことから、リザーバの飽和蒸気圧でOHPが作動していると考えられる

熱負荷を変えても、加熱部の温度がほぼリザーバの温度付近(40℃程度)で保たれている

VCHP, PCM, Heat Switchの研究

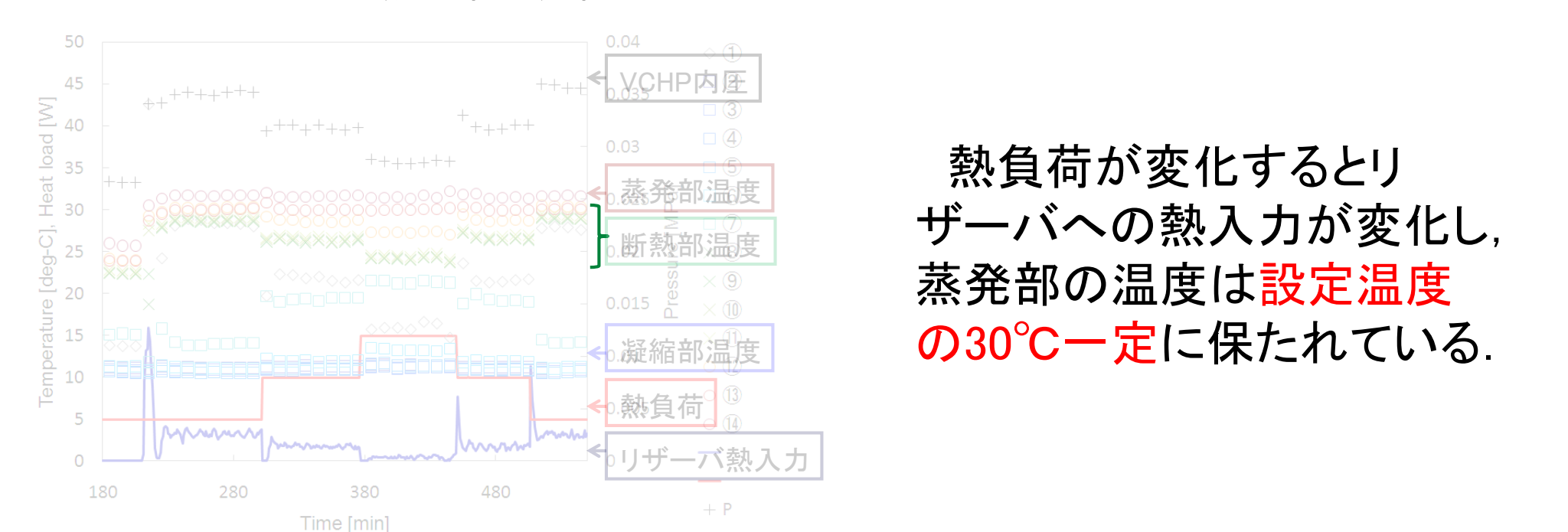
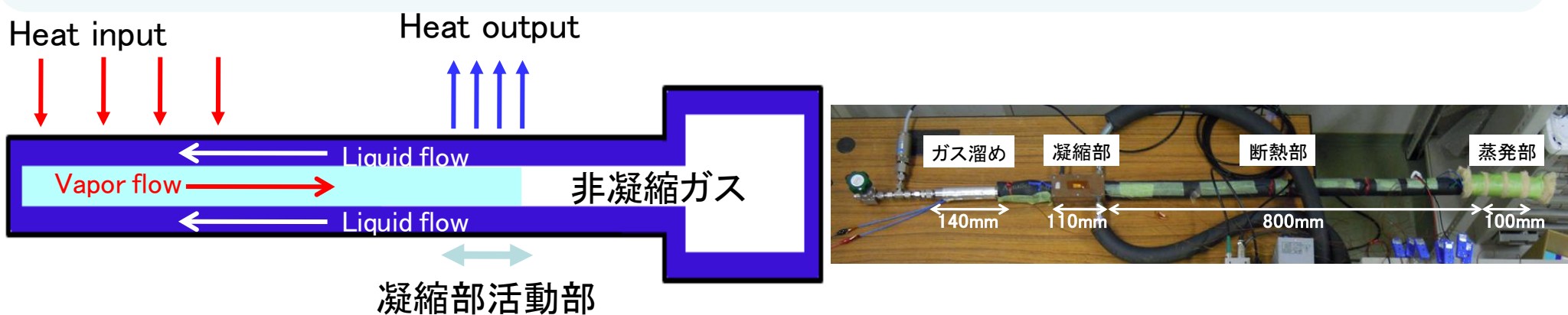
□VCHP

作動流体と非凝縮ガスを封入し、**温度制御機能を有したヒートパイプ**

□特徴

凝縮部の活動部分が伸縮し吸熱源とのコンダクタンスが変化

熱入力変化や凝縮部温度変化(外部環境変化)に対し、**蒸気温度を一定に**保とうとする(荒い**温度基準**を持っている)



熱負荷が変化するとリザーバへの熱入力に変化し、蒸発部の温度は**設定温度の30℃一定**に保たれている。

□PCM

熱を蓄え必要に応じてその熱を取り出す技術

□特徴

受動的であり信頼性が高い

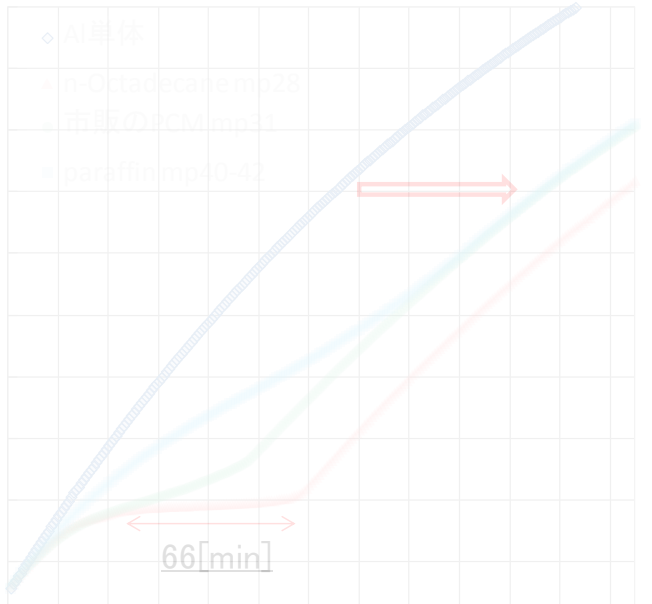
潜熱を利用することで一定に温度制御が可能である

発熱と放熱は同時である必要は無く、必要な時に蓄えた熱を取り出す

□用途

発熱量が変化する機器、外部熱環境が周期的に変化する環境に曝される宇宙機の温度を一定に保つ。保温電力の削減。
機器をPCMに繋ぎ、**熱を再利用・配分**することで複数の機器温度保つ
リエントリー時の膨大な入熱から、機器温度を適切な温度に抑える

実験は5W一定の熱負荷をPCM表面より与える様にした。



約60[min]間、相変化温度±1℃以内に温度制御できており、設計の妥当性を確認した。



□Heat Switch

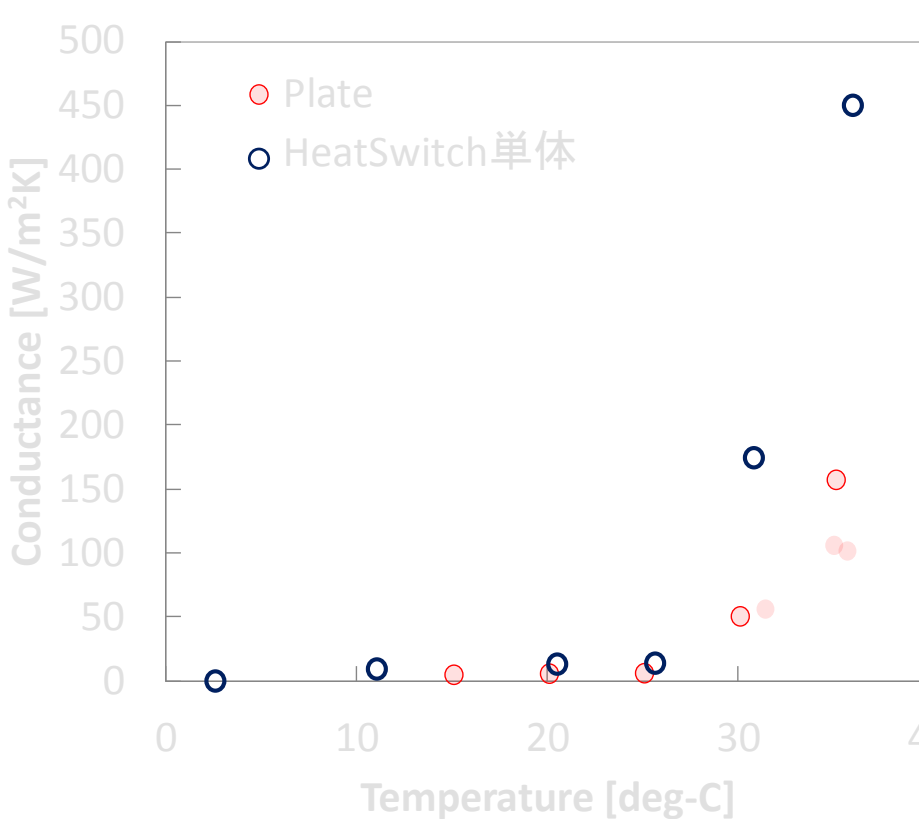
良い熱伝導性と断熱性能の役割を果たす熱制御デバイス

□特徴

ON,OFF制御のサーモスタットではなく、VCHPのような性質を持つ機器発熱量、放熱温度に依らず、機器の温度を一定に保つことができる

□用途

機器発熱が少ない時の機器の保温用ヒータ電力使用量の削減
外部熱環境、材料の劣化、太陽との距離などに対して十分なマージンを確保してラジエーターの面積を大きく設定できる
熱設計の**簡略化**



100[g/個]と小型の機器搭載型Heat Switchを製作しその性能を確かめた。
・Heat Switchの温度コントロール性に関しても確認できた。

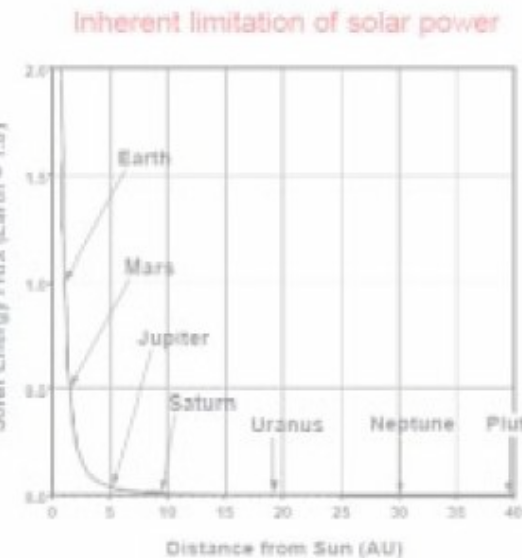


熱電変換システムの研究

深宇宙におけるエネルギー確保のために

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

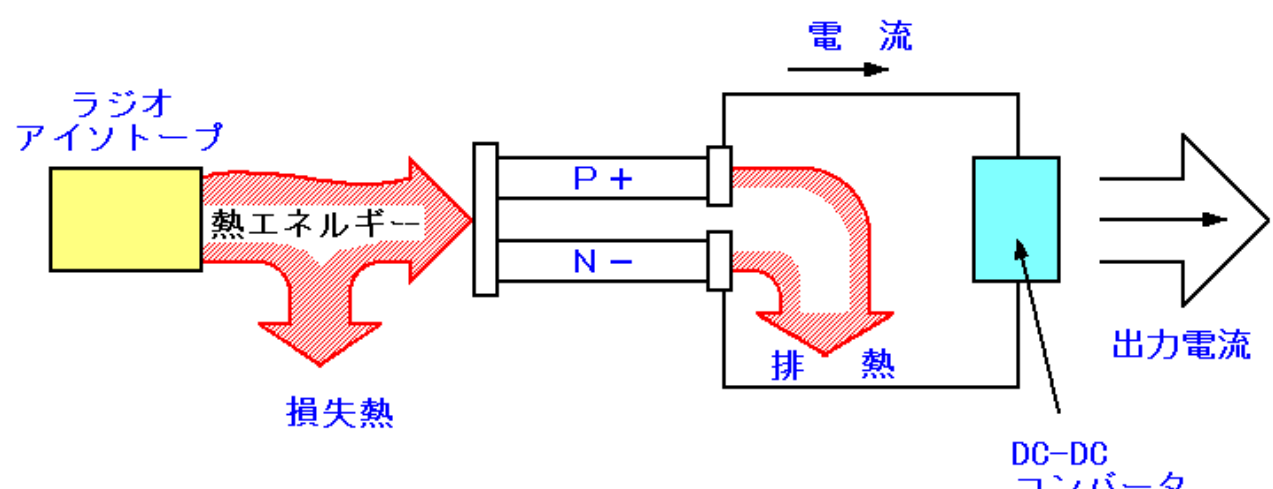


RI (Radio Isotope) 発電の利用

- ・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年代から宇宙用電源として用いられてきた

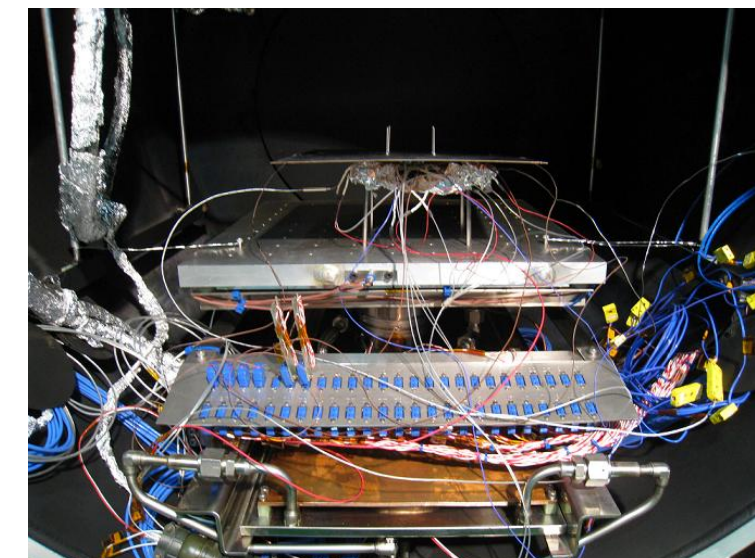
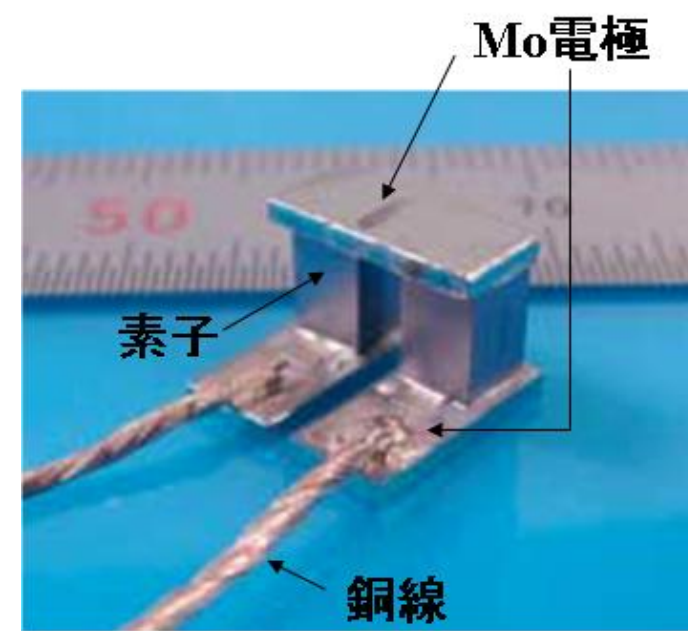
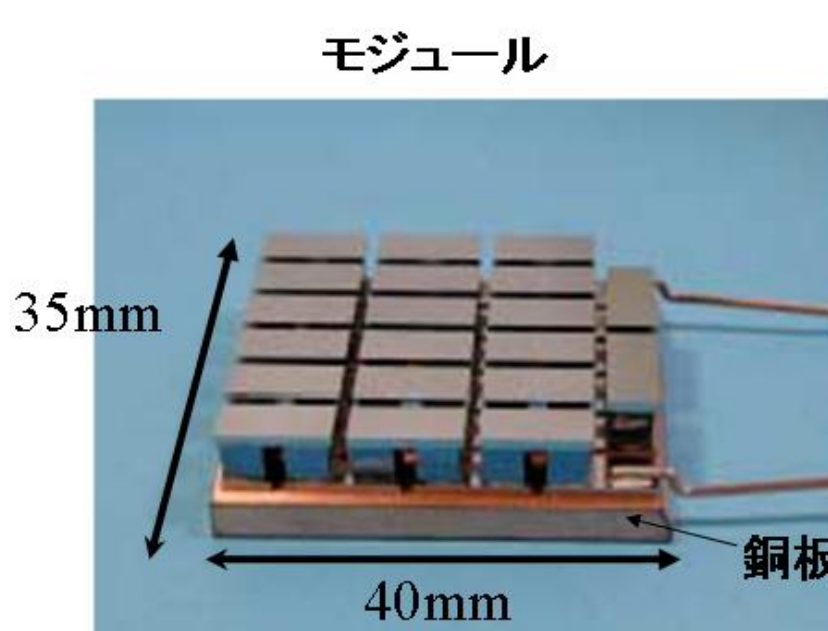
熱電変換素子

- ・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)



- ・RI熱源の検討(Pu238が最もfeasible)
- ・RI熱源は入手できるものと仮定してRTGシステムの検討を実施
- ・熱源としてヒーターを用い、宇宙環境を模擬した熱真空環境下に
おいてバラックで試作した熱電変換システム(一部)のシステム性能評価試験をおこなった。

- ・熱構造上の課題が判明→課題を解決し、宇宙環境での使用を見据えた熱電変換システムの設計手法を構築する
- ・RTGシステム全体の設計・試作を行う(RI熱源はヒータで模擬)



熱電変換システムの熱真空評価試験

