

GAPS用大型自励振動ヒートパイプの開発

○岡崎峻 (JAXA/ISAS) 福家英之 (ISAS/JAXA) 宮崎芳郎 (福井工業大学)
松宮宏明(東京工業大学)井上剛良(東京工業大学)小川博之(ISAS/JAXA)



概要

GAPSは2010年代後半以降に南極での気球実験を計画しており、宇宙線中の反粒子の高感度探査を通じて未知の宇宙物理過程を探る事を主目的としている。気球実験にて搭載機器は希薄気体のある高度35kmの特殊な熱環境に曝されるため、**気球特有の環境に適した冷却システムの構築が必要**である。冷却システムの構成は、検出器の発熱を低温のラジエーターパネルまで輸送し、宇宙空間へ輻射放熱することを計画している。現在、観測とシステムの要求を満たす熱輸送デバイスとして有力視しているのは**自励振動型ヒートパイプ(OHP)**である。本研究では、GAPSで熱輸送デバイスに求められる要求を満たすOHP設計を目指して、配管経路・配管距離・逆止弁などがOHPの熱輸送性能に与える影響の評価を行った。実験の結果、**世界で初めて6mU-shaped OHPと8mO-shaped OHPの動作を実験的に実証した**。さらに、**課題(低温動作・大型・長熱輸送・低発熱密度・大発熱量・加熱部温度一様性)を解決しつつ、GAPSの要求を満たす熱輸送性能を達成する事ができた**。また、本研究により、従来の研究で顕在化していなかった、**重力などの影響を実験的に検証**する事ができた。

1. GAPSの検出器熱設計

熱設計に求められる要求	要求に応える熱設計
検出器温度を -35deg-C以下 に抑える	⇒ 検出器発熱を宇宙空間に排熱
検出器冷却・熱輸送に要する 電力の削減	⇒ ヒートパイプによる熱輸送
検出器空間内の 物質量の抑制	⇒ 小管径・ラジエーター搭載位置の工夫

上記要求を満たす熱制御デバイスとして

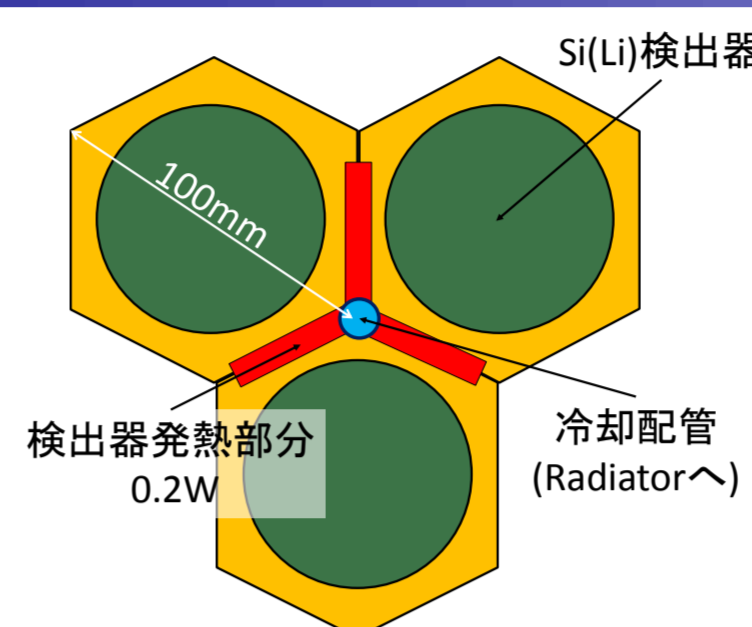
Oscillating Heat Pipe(OHP)

GAPS課題: 観測に影響しない配管経路
長熱輸送距離(大型のOHP)
低温での動作

GAPS特有の課題を解決するために

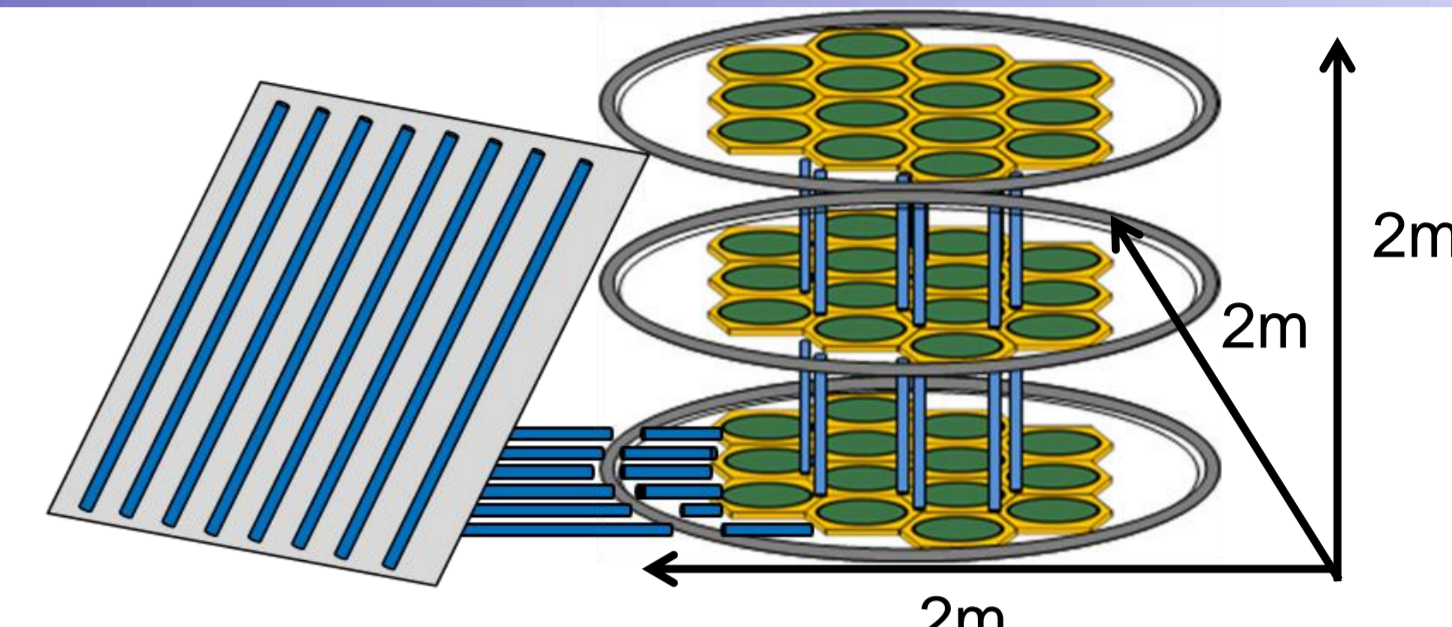
大型の自励振動ヒートパイプの開発

<ul style="list-style-type: none"> 熱輸送経路 逆止弁 配管長 	これらを最適化してGAPSに最も適したOHPの開発
---	---------------------------

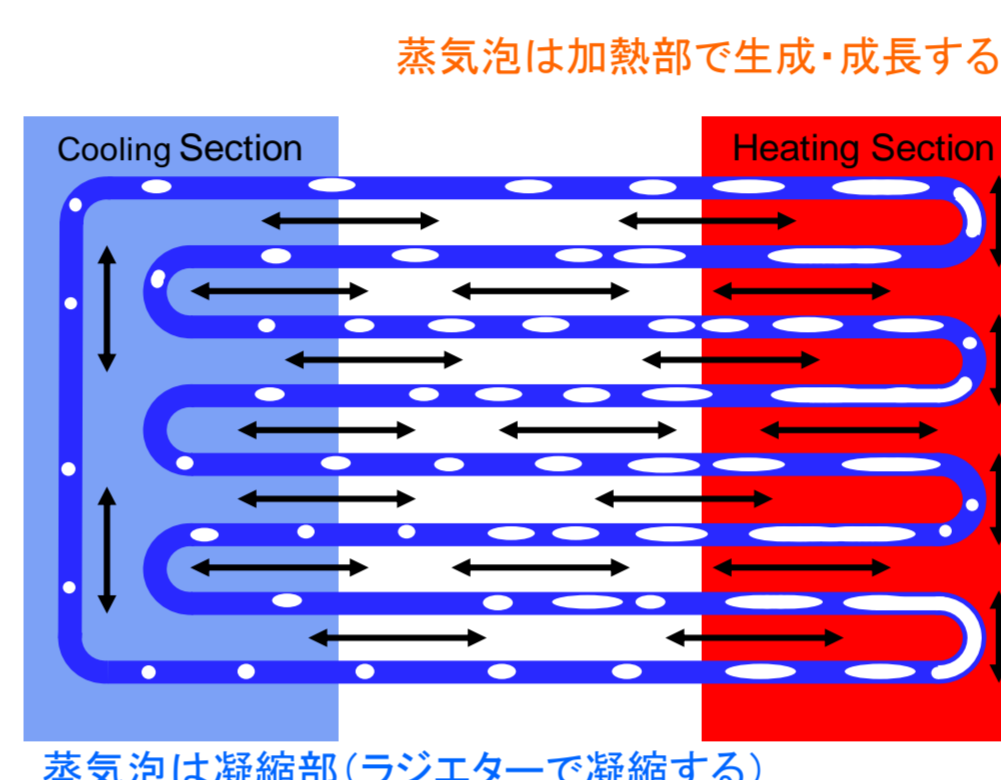


各Si(Li)検出器の発熱は0.2Wで3セルを1組とし冷却配管に熱結合

GAPS検出器・熱輸送デバイス・ラジエーターの構成



セルを400個敷き詰めたものを1層とし15cm間隔で13層重ねる

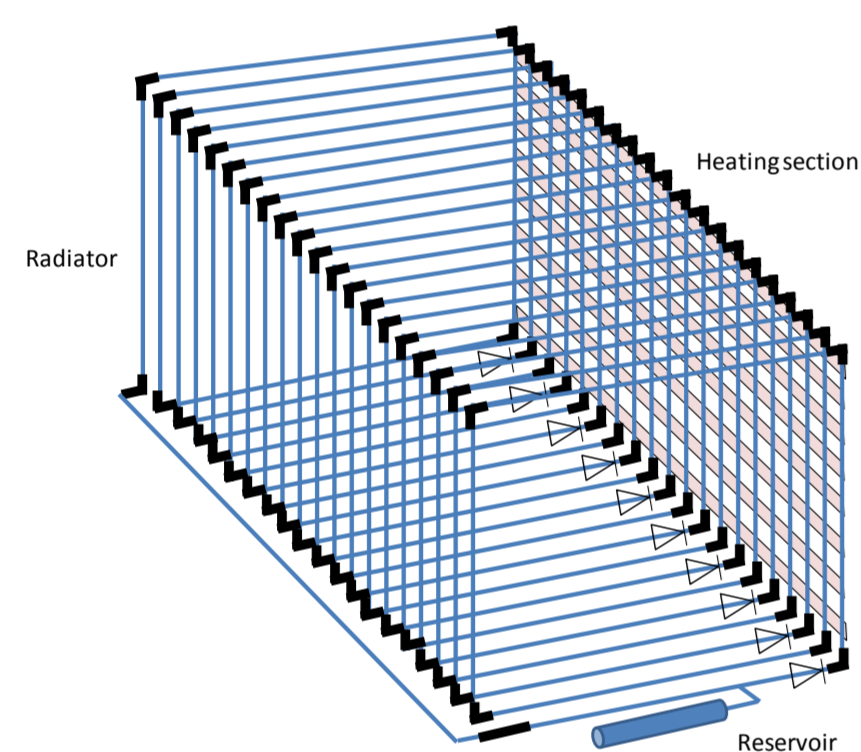


自励振動ヒートパイプ

加熱部と冷却部の間を往復する細管で構成され、**作動流体が飽和状態で封入された熱制御デバイス**。作動流体の、加熱部での蒸発と放熱部での凝縮に伴い、**圧力振動を生じ、作動流体の移動が起きる**。移動する**作動流体の潜熱と顕熱により、加熱部から放熱部に熱輸送される**。従来OHPの多くは常温で動作する**卓上スケールOHP**が研究開発されてきた。

2. 大型のO-shaped OHP U-shaped OHPの開発

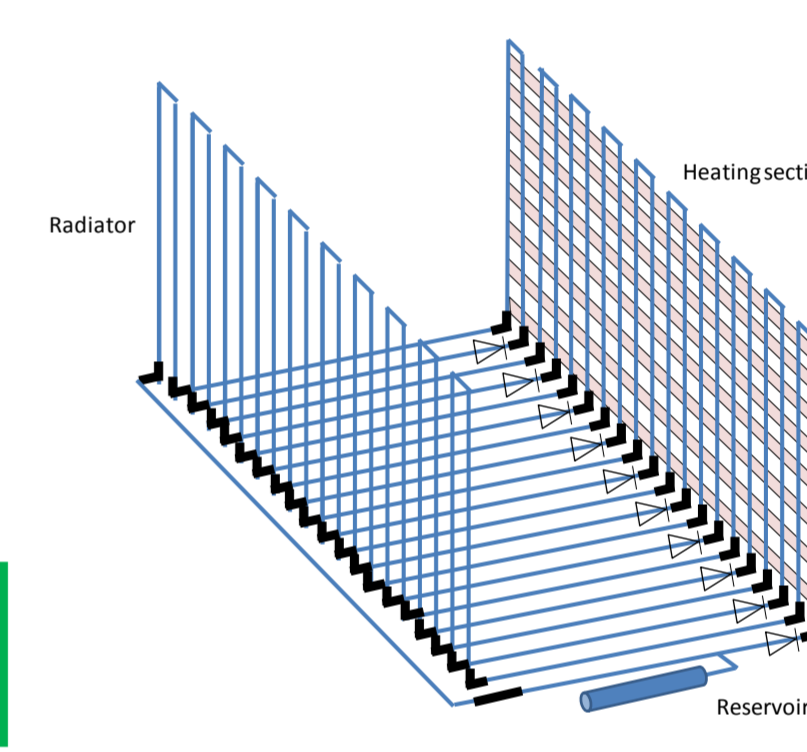
低温での熱輸送特性を取得するため**大型恒温層内で実験**を行い、20deg-C~-60deg-Cの幅広い温度環境で実験を行った。GAPSのフライトで求められる**熱輸送デバイスの要求 Conductance10W/K, 最大熱輸送量130W以上 をラジエーター-50deg-Cで実現**する事



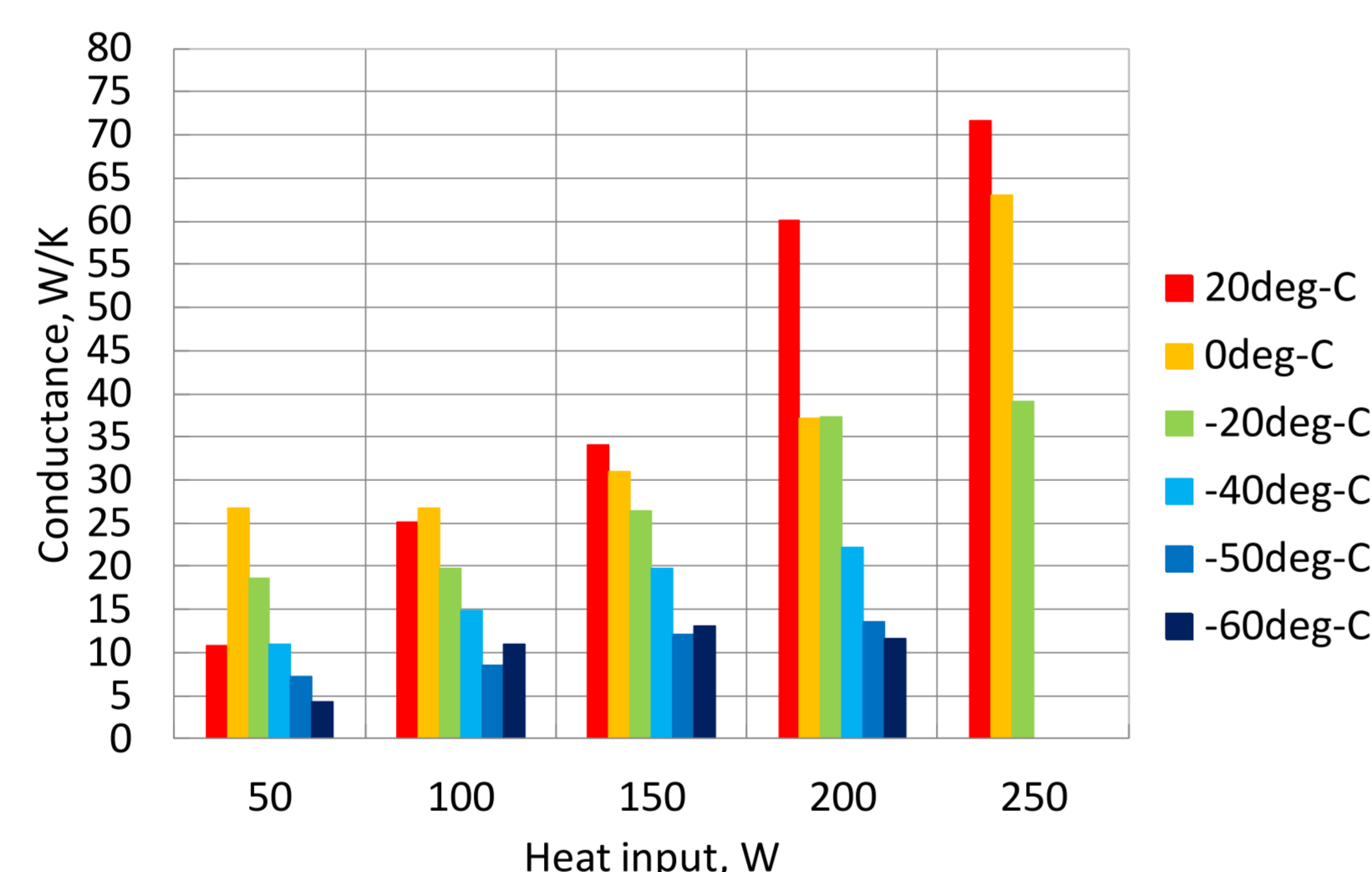
U-shaped OHPとO-shaped OHP熱輸送経路比較

- O-shapedの方が高熱輸送性能
- 60deg-Cでスタートアップ可能
- 50Wの低熱負荷でスタートアップ
- Top部分(加熱部上端)でのドライアウト軽減

考察: 発熱部の蒸気と冷却部の液の密度差によってOHP内の作動流体の流れが重力によってアシストされた為、O-shaped OHPの方が性能が良くなったと考えられる。

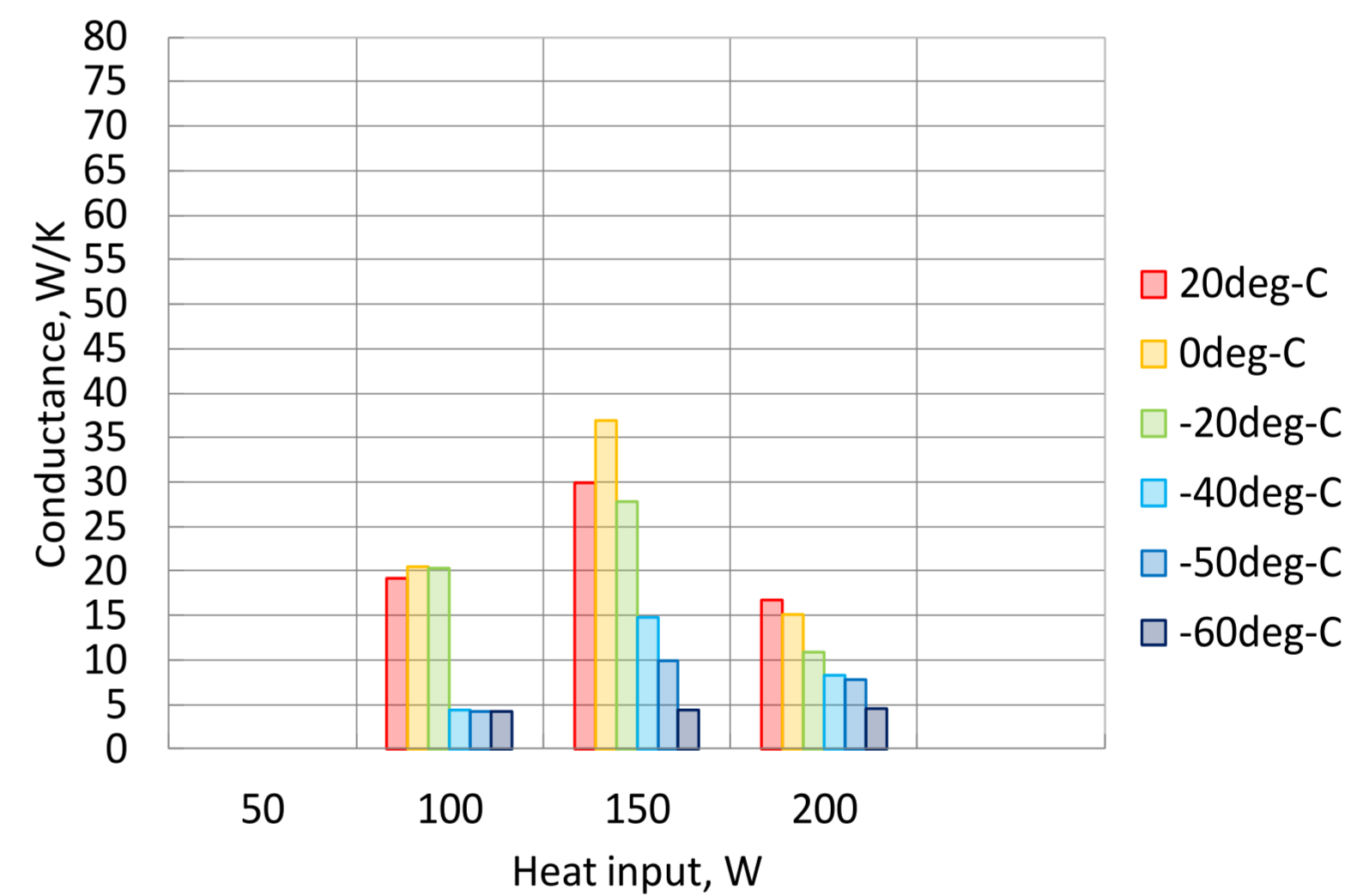


O-shaped OHP 逆止弁あり



熱輸送経路

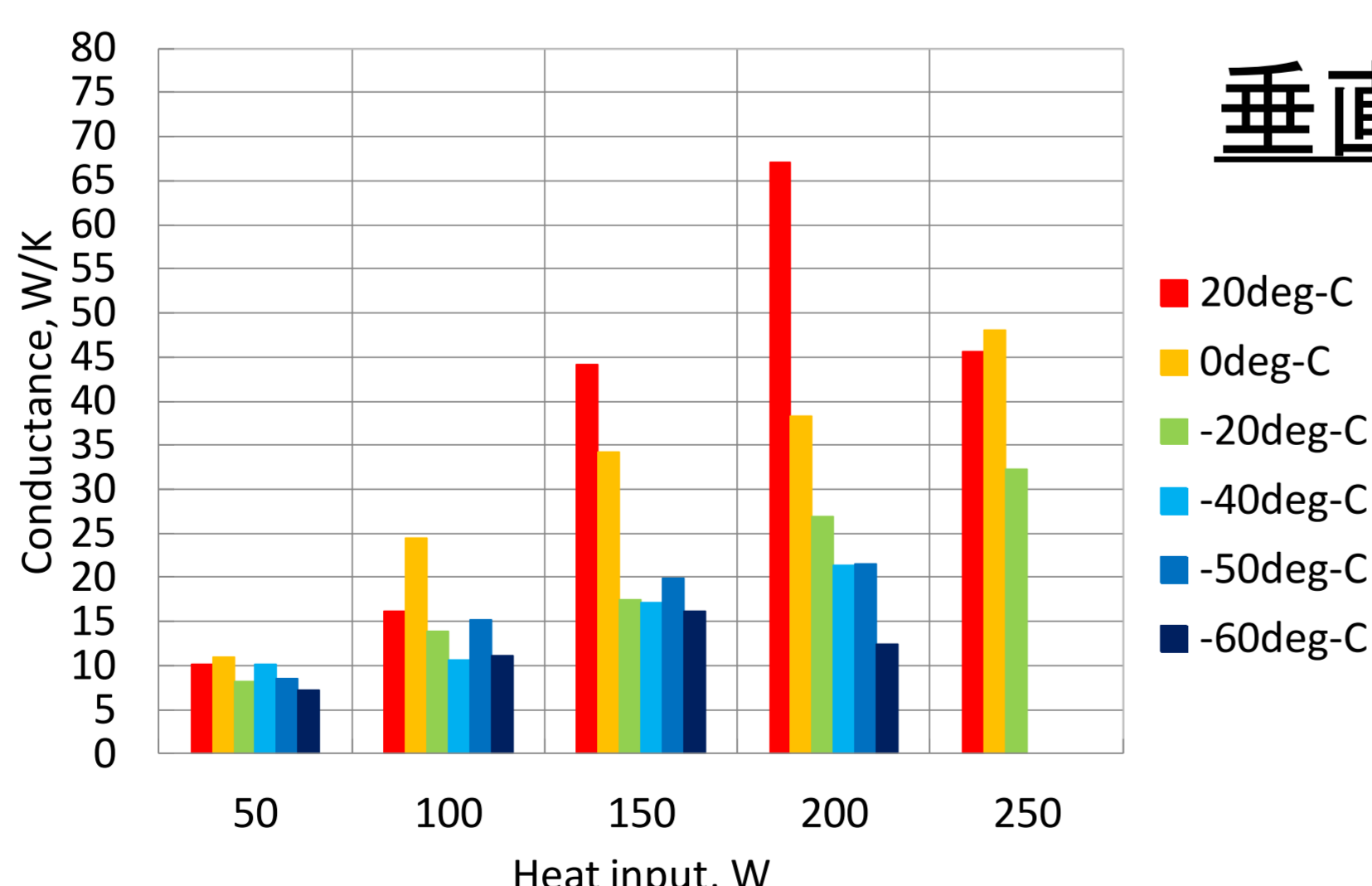
U-shaped OHP 逆止弁あり



逆止弁の効果

O-shaped OHP“逆止弁あり”と“逆止弁なし”の比較
逆止弁によって流れが一方に安定し熱輸送特性向上
蒸気圧の低い低温では逆止弁が抵抗になり性能低下

考察: 重力下の実験であるので、発熱部の蒸気と冷却部の液の密度差によってOHP内の作動流体の流れが重力によって方向づけられた為、性能変化は顕著に表れなかった



垂直方向高さ

O-shaped OHP “高さ2.0m”と高さ1.0m”の比較
OHPの熱輸送特性は全熱量で決まる
最大熱輸送量・スタートアップ熱負荷に変化無し

考察: 恒温層での実験では高さ1.0mでは放熱部の面積が小さくなり高熱負荷では、高さ2.0mに比べて放熱能力が不足してドライアウトする。ただし、実際のフライトで使用するラジエーターと実験で使用したラジエーターは異なるので、フライトでは回避できる見込み。

O-shaped OHP 逆止弁なし 高さ2m

O-shaped OHP 逆止弁なし 高さ1m

世界で初めて6mU-shaped OHPと8mO-shaped OHPの動作を実験的に実証
要求を満足する(低温動作・大型・長熱輸送)熱輸送性能をOHPを用いて達成
従来の研究で顕在化していなかった、**重力などの影響を実験的に検証**
今後
スタートアップ時間短縮や更なる**高性能・ロバストなOHPを開発**