

P2-212

宇宙用ヒートパイプの開発状況報告および宇宙機への適用形態の提案

岡本篤, 畠中龍太, 安藤麻紀子, 宮北健, 澤田健一郎, 佐藤洋一, 篠崎慶亮, 矢部高宏, 杉田寛之
(JAXA研究開発本部熱グループ)

宇宙機の高度化やミッションの多様化により従来よりも高度かつ複雑な熱制御技術が要求されてきている。また、搭載機器の高発熱密度化・高密度実装化により熱制御系に対する要求が高度化しており、近い将来、既存の熱制御技術では対応できなくなることが予想される。高度化する熱制御要求に対応する技術として研究開発本部熱グループではループヒートパイプ(LHP, Loop Heat Pipe)や平板型ヒートパイプ(FHP, Flat-plate Heat Pipe)の開発を行っている。本発表ではLHPやFHPの開発状況を報告するとともにそれらの技術の宇宙機への適用形態について提案を行う。

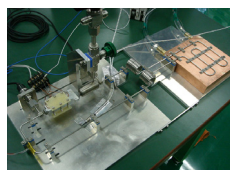
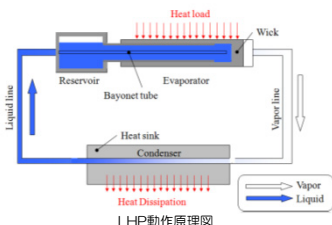
ループヒートパイプ (Loop Heat Pipe : LHP)

機器の発熱の吸熱を行うEvaporatorと宇宙空間等に排熱を行うCondenser, およびそれらを繋ぐVapor line, Liquid lineから構成される。内部に封入した作動流体の蒸発潜熱を利用して大容量・長距離熱輸送を行うデバイス。

作動流体の循環はevaporator内部に設置されたwick (多孔質体) で発生する毛細管力のみにより行われ、ポンプを必要としない。

LHPの特長

- 大量・長距離熱輸送が可能
- 熱輸送特性が重力の影響を受けにくい
- 高精度な温度コントロールが可能
- シャットダウン機能を有する



リザーバ外付け型LHP外観 (熱G開発品)

海外の技術動向

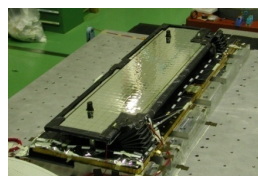
LHPは1980年代に旧ソ連で発明・開発された技術。ソ連崩壊後、技術が公開されロシア・米国を中心に発展。ロシア、米国では1990年代後半から軌道上実証を経て実利用が始まり、**多くの搭載実績がある**。当初は1つのEvaporatorに対して1つのCondenserを持つタイプのLHPのみであったが、近年は複数の蒸発器・凝縮器を持つタイプの研究開発が行われている。また、宇宙機への適用だけでなく航空機、自動車、パソコンのCPU冷却などの地上アプリケーションへの適用検討も行われている。

JAXAにおける開発状況

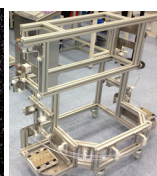
きく8号 (2006年末打上げ) にリザーバ内蔵型LHPを利用した展開型ラジエータ実験装置(DPR, DeDeployable Radiator)を搭載し、**日本初のLHP軌道上実証実験を実施しているが、まだ実用としての搭載実績はなく、LHPが必要なミッションには海外製LHPを調達して対応** (例としたASTRO-H/SXS用スペイン製LHPを示す)。DPR開発のノウハウを生かして温度制御/シャットダウン等が可能な世界標準タイプのLHP (リザーバ外付け型LHP) の研究開発を行っており、**早期の実用化を目指して今年度BBMの製造・評価を実施中。今年度末までにEM開発に着手可能なレベルに到達できる見込み。**



きく8号搭載リザーバ内蔵型LHPを用いた展開型ラジエータ実験装置



ASTRO-H/SXS 機械式冷凍機排熱用スペイン製LHP (FMI)



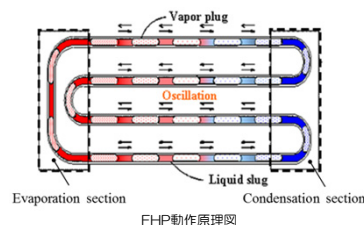
平板型ヒートパイプ (Flat-plate Heat Pipe : FHP)

厚さ数mmの平板内に設けられた密閉蛇行細管とその内部に封入された二相凝縮性作動流体から構成される。

動作原理は従来のヒートパイプと異なり加熱部で継続的に行われる核沸騰と冷却部における凝縮に起因する断続的な圧力振動が発生し、それを駆動源とする作動流体の振動および循環により顕熱および蒸発潜熱を介した熱輸送が行われる。

FHPの特長

- 平板形状なので搭載性が良い
- 高発熱密度機器の熱拡散が可能
- 熱輸送特性が重力の影響を受けにくい



FHP外観 (熱G開発品)

海外の技術動向

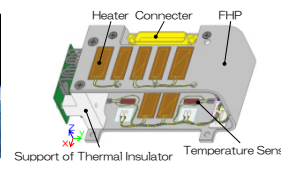
振動流型ヒートパイプは、その優れた熱特性・有効性に海外でも着目されており、OHP(Oscillating Heat Pipe), PHP(Pulsating Heat Pipe)や発明者である赤地久輝氏の名をとってAkachi HPとして知られており、多くの研究機関・大学で盛んに研究が行われているが、**宇宙機の熱制御系への適用例はまだない。**

JAXAにおける開発状況

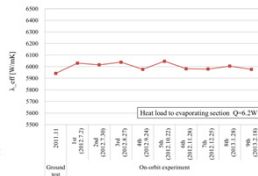
JAXA研究開発本部熱グループが中心となり、大学や国内の有識者と協力して、宇宙機への適用を目指した研究開発を実施。BBM開発を通じて設計・製造・評価技術の獲得を行い、平成24年5月に打ち上げられた**小型衛星SDS-4にFHP実験装置を搭載して軌道上実験を実施しており、1年半以上経過した現時点で劣化は見られていない**。JAXA宇宙科学研究所熱流体グループでは、リザーバを接続することにより温度制御機能を持たせたタイプのFHP等の研究を行っている。**日本が世界を先行する形で研究開発を実施しており、実用化に一番近いレベルにある。**



SDS-4軌道上イメージ



軌道上実験用FHP (FM)

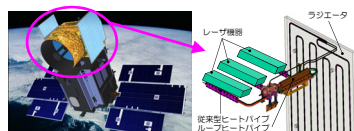


SDS-4軌道上実験軌道上におけるFHPの実効熱伝導率のトレンド

開発中のヒートパイプの宇宙機への適用形態

◆LHPの適用形態

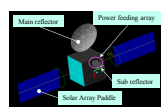
- 高い温度制御性が要求される機器の排熱
±1℃以内の温度制御が可能
- シャットダウン機能が要求される機器の排熱
熱輸送機能を任意にON/OFF可能。
越冬を目指す月面ローバ搭載機器の熱制御。
- 従来型ヒートパイプでは排熱不可能な機器の排熱
動作特性が重力の影響を大きく受ける従来型ヒートパイプは地上試験で確実に動作するコンフィギュレーションに配置しないといけない制約があるが、LHPはそのような制約を受けないため自在にレイアウトが可能。
- 展開ラジエータ用熱輸送デバイス
Vapor line, Liquid lineは平滑管のためコイルリングが可能。またフレキシブル管も使用可能であるため、展開ラジエータで必要とされる可とう性を実現可能。



ICESat (米国) へのLHP搭載コンフィギュレーション

◆FHPの適用形態

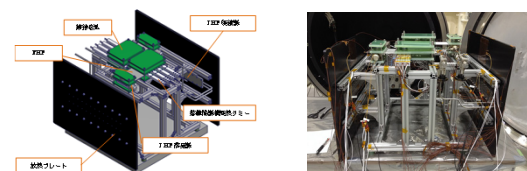
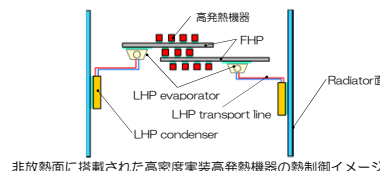
- 従来型ヒートパイプでは排熱が不可能な高密度実装高発熱機器の排熱
TWTが密集した給電アレー部の熱制御 (イメージ図を下に示す) や高密度実装された検出器の排熱が可能。
- 高密度発熱機器の熱拡散
下図に示すSSPAの発熱密度は10W/cm²以上
- 発熱機器の排熱用サーマルストラップ
- 機器内部の基板上の発熱チップから筐体外部への直接排熱

Close-up view of Power feeding array
Next generation Broadcasting satellite (NH-K, under conceptual study)

S-band GaN SSPA

◆LHPとFHPを組み合わせた熱制御の例

- 非放熱面に高密度実装された高発熱機器の排熱
これまで高発熱機器は放熱面にしか搭載できなかったが、重力の影響を受けないLHPおよびFHPを用いることにより、高密度実装された高発熱機器を非放熱面に搭載することが可能となる。イメージ図およびスケールモデルを用いた熱真空試験の写真を以下に示す。



FHPとLHP組み合わせ熱真空試験

まとめ

次世代のスタンダードな熱制御技術として期待されるループヒートパイプおよび平板型ヒートパイプについて、その特徴、海外の開発動向、JAXAにおける研究開発の状況および宇宙機への適用形態について紹介した。今後、ミッションの高度化および宇宙機が遭遇する熱環境の複雑化に伴い、熱制御系に対する要求が高度化することは容易に想像でき、そのような熱制御要求に柔軟に対応できるこれらの技術を早急に実用化 (実利用ミッションへの適用) する必要があるため、国内の有識者の知恵を集結して研究開発を進めている。