

Microgravity Science

未来の宇宙開発や省エネ社会を支える効率的な冷却システムを作る 沸騰・二相流体ループを用いた気液界面形成と熱伝達

Two-Phase Flow

背景

有人宇宙飛行が始まってから50年。地球を周回している人工衛星は、衛星中継などの通信や気象予測などの目的に加えて、カーナビに欠くことができない測位まで行えるようになり、私たちの生活に欠くことができないものとなりました。人類の宇宙探査は月から火星にまで拡大し、一方では月面を様々な目的に利用する計画までが現実のものになるようとしています。また、宇宙ステーションは最も近い宇宙の一つとして微小重力を利用した生命科学や理工学などの宇宙実験が行われるようになりました。

このように宇宙開発は今後もますます大きく発展するものと

目的

これまでの排熱システムは、熱の運び役として液体だけ（これを単相流体といいます）が使われてきました。これからは液体と気体を組み合わせる（これを二相流体といいます）ことでより強力な排熱システムを作ろうとしています。二相流体によるシステムでは、液体が沸騰する際にたくさんの熱をうばうことを巧みに利用するため、たいへん効率的な排熱が期待できます。

しかし、これを実現するためにはいくつかの課題があります。液体の沸騰により出てきた気泡は、地上では浮力によって上昇するのに対し、宇宙では微小重力となるために浮力は働かず、気泡の動きは地上とは様子がかなり違います。また、二相流体に見られる気液混じりの流れも地上とは異なります。これらにより、熱を二相流体に伝えるときの能率（これを熱伝達係数といいます）が微小重力下では地上と大きく異なることが予想されますが、微小重力下で、この能率が良くなるのか悪くなるのかさえよく分かっていません。そこでこの「きぼう」実験では、沸騰現象や二相流という気液混じりの複雑な現象を究明し、微小重力下で作動する高性能な排熱システムを新たに開発するために必要となるデータを系統的に取得します。これらのデータは単に将来の宇宙機器に応用されるのみならず、地上での現象の解明や次世代エネルギー機器の開発にも大いに役に立ちます。例えば、加速度状態が目まぐるしく変化する新しいハイブリッド自動車用インバータ冷却システムの開発に使われるなど、省エネルギー・地球環境保全の促進につながることを期待されています（図1）。

考えられますが、様々な活動には多くのエネルギーが必要になります。宇宙空間に必要なエネルギーは、例えば太陽電池から電力の形で供給されるのですが、消費されたエネルギーは最終的に熱になって機器から排出されます。これを取り除かなければ人工衛星や宇宙船内の温度が上がり続けて、正常に動かなくなるので、うまく冷やす必要があります。そこで、次世代の宇宙開発のためにもっと効率的で大容量の冷却排熱システムづくりが強く求められています。

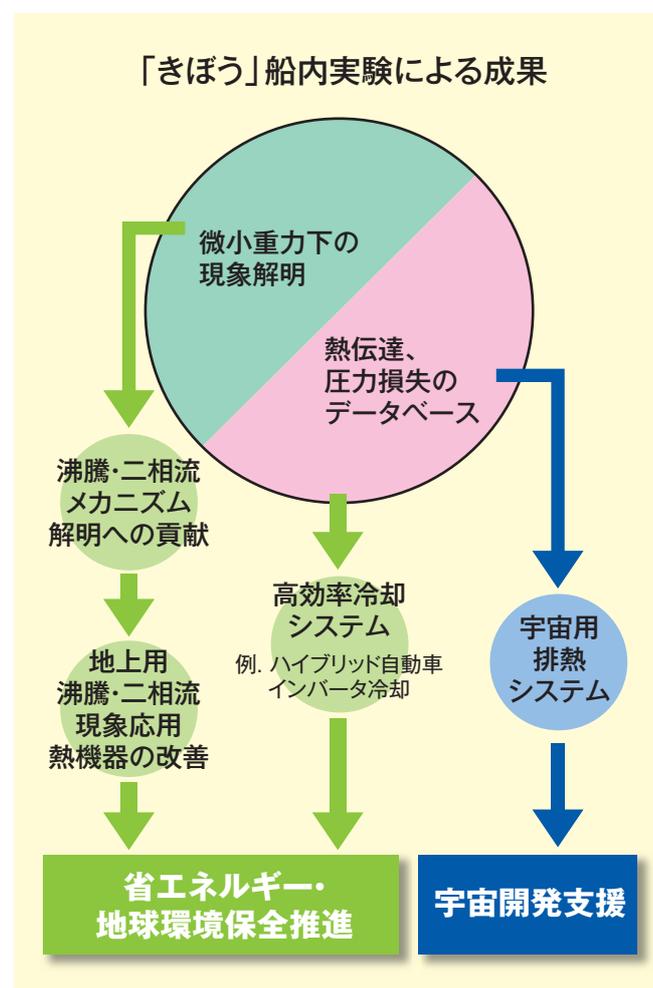


図1 民生への転用も含めた実験結果のシナリオ

実験内容

この実験では、「きぼう」内に設置されている多目的実験ラックに二相流体ループの実験装置(図2)を組み込んで行います。二相流体ループには排熱部を模擬するために、管内に一定速度で流入する液体を電気ヒータで加熱して沸騰させる(これを強制流動沸騰といいます)加熱部テストセクションを設けています。加熱部テストセクションには、透明伝熱管と金属管の二種類が用いられ、流路を切り換えてそれぞれが実験できるようになっています(図3)。

透明伝熱管はガラス管の内面に金属膜を非常に薄く(0.01~0.1ミクロン)かつ一様にコーティングしてあり、これに電流を流すことで加熱・気液挙動の観察・管内面温度の測定を同時に行えるようになっています(図4、図5)。金属管は外部に巻き付けられたヒータで加熱することで、通常の加熱条件に加えて、液体がほとんど蒸発して加熱面が乾くような過酷な条件(限界熱流束といいます)での実験も行うことができます。

それぞれの管の出口には透明樹脂管による非加熱観察部テストセクションが設けられており、高速度カメラにより気液二相流動の詳細を観察し、そのメカニズムを解明します。さらに、その先の凝縮部では蒸発した蒸気を液体に戻してループ内と再循環させる役割を持っていますが、二相流体ループの廃熱部としての機能に加えて、微小重力下ではまだほとんど解明されていない凝縮時の圧力損失や熱伝達係数の計測を行います。

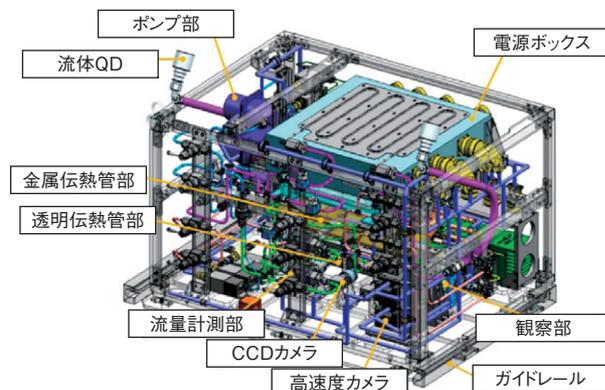


図2 実験装置

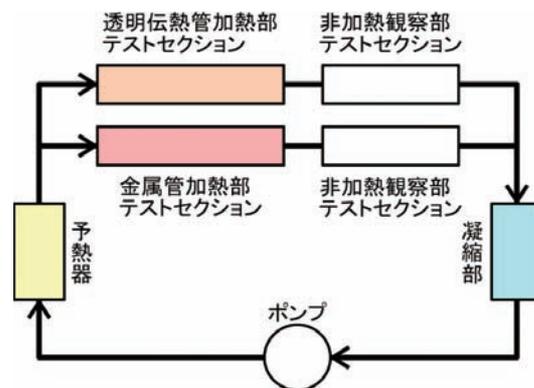


図3 二相流体ループ

ココがポイント!

この実験は、まだまだ未解明の部分が多い微小重力下での沸騰・二相流の現象解明に大きな成果が見込めるだけでなく、宇宙で使われる排熱・冷却システム、熱制御機器などの高性能化に役立てることができると期待できます。また得られた知識は、地上においてもハイブリッド自動車のインバータ冷却システムや、高発熱密度・大容量冷却システムなどへの展開が期待できます。微小重力下での強制流動沸騰の実験は、スペースシャトルでの過去の実験を含めても、この「きぼう」での実験が世界初となる見込みで、同分野の世界中の研究者が注目しています。

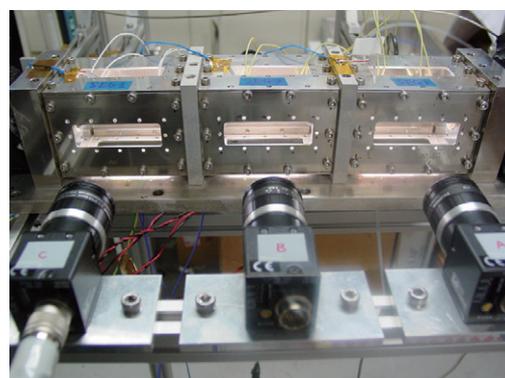


図4 透明伝熱管テストセクション

プロフィール



大田 治彦

九州大学 大学院
工学研究院 航空宇宙工学部門
教授

専門：宇宙環境利用、熱工学、
微小重力実験

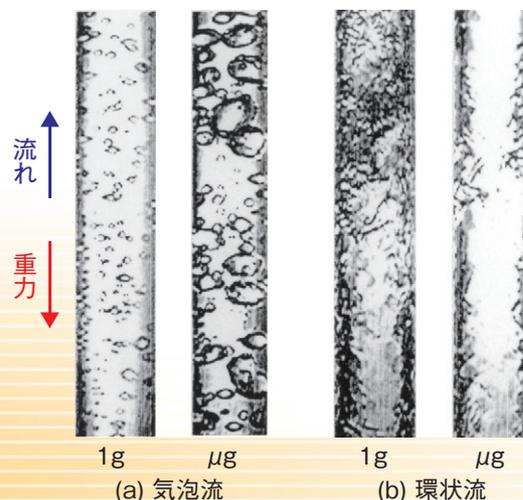


図5 透明伝熱管内の二相界面挙動