

研究課題	<b>自励振動ヒートパイプの熱輸送性能向上手法に関する研究</b> — 作動流体へのマイクロカプセル相変化物質添加 —
キーワード	① 熱輸送デバイス、② 相変化蓄熱材、③ 電子機器冷却

**研究者の所属・氏名等**

フリガナ 氏名	ミウラ マサヨシ 三浦 正義
配付時の所属先・職位等 (令和4年4月1日現在)	千葉工業大学 工学部・助教
現在の所属先・職位等 (令和5年7月1日現在)	千葉工業大学 工学部・助教
プロフィール	学部の卒業研究より一貫して自励振動ヒートパイプに関する研究を行っている。自励振動ヒートパイプの熱輸送特性の理解を目的とし、自励振動ヒートパイプにおいて最も基礎的な熱輸送の要素の「液柱の往復振動に伴う熱輸送」に着目して研究を行い、2017年3月に博士(工学)取得。学位取得後、神奈川大学において、教育と研究に従事し、自励振動ヒートパイプの動作機構の解明を目的とした基礎的研究および熱輸送性能向上を目的とした応用的研究を開始する。その後、2021年9月に千葉工業大学へ異動し、自励振動ヒートパイプを中心とした熱輸送デバイスの研究を研究室主宰者として行っている。

**1. 研究の概要**

自励振動ヒートパイプ(図1)における最小構成単位である1ターン自励振動ヒートパイプを用いて、作動流体へのマイクロカプセル相変化物質(図2)有無による熱輸送性能の違いを評価し、作動流体へのマイクロカプセル相変化物質の添加の最適な条件を探索した。つぎに、マイクロカプセル相変化物質を添加した作動流体による自励振動ヒートパイプの熱輸送性能向上の詳細なメカニズム解明を行った。具体的には、矩形溝流路を加工した銅板に対して透明ポリカーボネイト板を押し付けた可視化流路と高速度ビデオカメラを用いることで、流路内を振動する液柱におけるマイクロカプセル相変化物質の挙動の詳細について明らかにした。

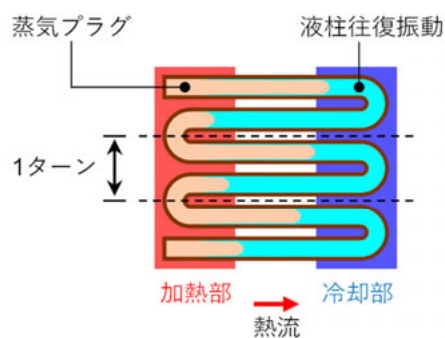


図1. 自励振動ヒートパイプ

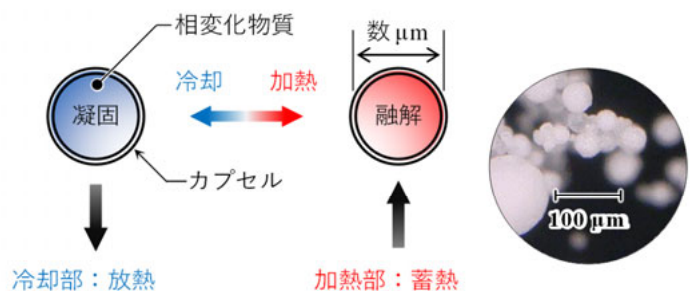


図2. 作動流体へのマイクロカプセル相変化物質添加による熱輸送促進と供試マイクロカプセル相変化物質の写真

## 2. 研究の動機、目的

今日、電子機器は小型化と消費電力の増加に伴い発熱密度が増大しており、その冷却技術の重要性が増している。そのなかで、従来のヒートパイプと異なる熱輸送機構を有する自励振動ヒートパイプが今後の高性能熱輸送デバイスとして注目される。この自励振動ヒートパイプは、顕熱輸送（流路壁と作動液体の間の対流熱伝達による熱輸送）と潜熱輸送（作動流体の蒸発・凝縮による熱輸送）が同時に行われるため、高い熱輸送性能が得られる。従来、自励振動ヒートパイプの熱輸送性能向上手法として、潜熱輸送に寄与する沸騰・蒸発を促進するものが試みられてきたが、熱輸送全体の約 50% を占める顕熱輸送を促進し、自励振動ヒートパイプの性能を向上させる試みは従来行われていない。本研究では、顕熱輸送を増大させる方法として、マイクロカプセル相変化物質（固-液相変化蓄熱材であるパラフィン）を直径が数  $\mu\text{m}$  のカプセル中に充填したものを自励振動ヒートパイプの作動流体に添加する方法を提案する。このマイクロカプセル相変化物質を添加した作動流体は、融解・凝固の潜熱を利用するため、小さな温度変化で多量の熱授受が可能となり、優れた熱輸送の媒体が実現すると考えられる。そこで、作動流体にマイクロカプセル相変化物質を添加する最適条件について実験的に調べ、本手法の性能向上効果を明らかにするとともに、自励振動ヒートパイプの液柱の自励振動流におけるマイクロカプセル相変化物質の流動挙動を詳細に観察することを目的とした。

## 3. 研究の結果

種々のマイクロカプセル相変化物質の添加濃度における熱輸送の増加量  $\Delta Q$  を図 3 に示す。 $\Delta Q$  は各添加濃度における熱輸送量から、マイクロカプセル相変化物質を添加しない場合でのそれを差し引いたものである。図 3 より、いずれの添加濃度においても  $\Delta Q > 0$  であることから、マイクロカプセル相変化物質を添加することで熱輸送性能が向上していることがわかる。また、添加濃度が増加するにつれ  $\Delta Q$  が小さくなっていることがわかる。これは、添加濃度の増加に伴い、往復振動する液柱先端の振動振幅が低下し、マイクロカプセル相変化物質が融解できる領域が減少したためであると考えられる。つぎに、マイクロカプセル相変化物質の融解モデルによる熱輸送促進の計算値  $\Delta Q_{\text{cal}}$  について議論する。いずれの添加濃度についても実験値より計算値のほうが小さくなっている。これは、マイクロカプセル相変化物質は作動液体と比較して密度が大きく、その密度差により攪拌効果が生じたためであると考えられる。

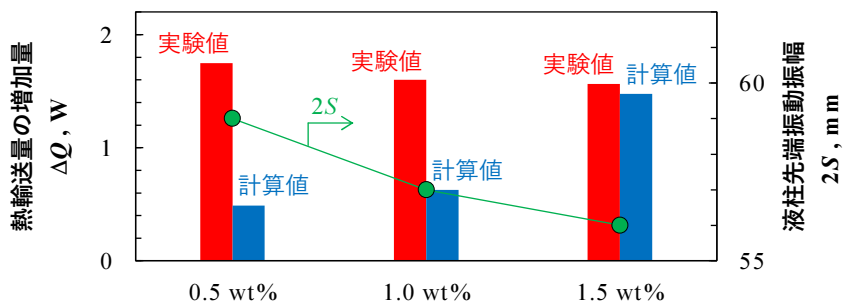


図 3. 作動流体へのマイクロカプセル相変化物質添加による熱輸送量の増加量

## 4. 研究者としてのこれからの展望

省エネルギー化への要求の高まりに伴い、熱の需要と供給の時空間的な mismatch を解消することが強く望まれています。これには、蓄熱・熱輸送技術を駆使する必要があります。熱輸送デバイスが重要な技術となると考えています。この熱輸送デバイスについて、自励振動ヒートパイプを中心として、動作原理の解明を目的とした基礎的な研究から性能向上を目的とした応用的な研究まで幅広く行い、それらの体系化を目指していきたいと考えています。

## 5. 支援者（寄付企業等や社会一般）等へのメッセージ

本奨励金をいただいたことにより、作動流体へのマイクロカプセル相変化物質を添加することによる自励振動ヒートパイプの熱輸送性能向上手法について、実験的に詳細を検討することができました。誠にありがとうございました。本研究で得られた知見を社会へ還元できるよう、実機による検証や更なる発展的研究について進めていきたいと考えています。