



配布先: 文部科学記者会、科学記者会、名古屋教育記者会

2025 年 4 月 2 日

報道機関 各位

世界最薄 0.3mm の熱輸送デバイスを開発 ～スマートフォンなど小型・薄型電子機器の放熱性向上に貢献～

【本研究のポイント】

- ・世界最薄(厚さ 0.3 mm)の熱輸送デバイス「ループヒートパイプ(UTLHP)」を開発。
- ・1 cm²あたり 10 W の高熱フラックスに対応し、全方向で安定動作。
- ・スマートフォンなどの次世代小型・薄型電子機器の放熱デバイスとして期待。

【研究概要】

名古屋大学大学院工学研究科の長野 方星 教授、渡邊 紀志 特任准教授、佐々木純博士前期課程らの研究グループは、ポーライト株式会社との共同研究で、厚さわずか 0.3 mm で 10W(10 W/cm²)の高熱フラックスに対応可能な「超薄型ループヒートパイプ」の開発に成功しました。

ループヒートパイプはウィックと呼ばれる多孔質体(スポンジ構造)で生じる毛細管現象をポンプの駆動力に利用することで、電力を使用せずに半永久的に熱を輸送できる受動的冷却技術です。

今回開発された超薄型ループヒートパイプは、2 枚の銅箔をエッチング加工で流路を形成した後、銅粉末を焼結したウィックを組み込み、レーザー溶接により高精度かつ高強度に一体化されています。冷媒として水を使用し、充填率の異なる複数条件下で動作性能を評価しました。また、モバイル機器への搭載を見据えて、水平方向に加えて上下・縦横方向の姿勢でも特性評価を実施し、いずれの姿勢においても 10W の熱を安定して輸送できることを確認しました。

本デバイスの熱輸送能力は熱伝導性の高い銅の約 45 倍、グラファイトシートの約 10 倍高いことが明らかとなり、極薄ながら高い放熱能力を有することが実証されました。これにより、スマートフォンやタブレットなどの小型・薄型電子機器における熱マネジメント技術の高度化に寄与することが期待されます。

本研究成果は、2025 年 3 月 24 日付 Elsevier B.V.の発行する学術雑誌『Applied Thermal Engineering』に掲載されました。

【研究背景と内容】

スマートフォンやタブレット端末などのモバイル機器は、近年ますます小型化・薄型化が進む一方で、高性能化に伴い発熱量も増加しています。これにより、限られた空間で効率よく発生熱を逃がす**高度な熱マネジメント技術**が求められています。熱の蓄積は、デバイスの性能低下や寿命の短縮、さらには安全性の問題にもつながるため、効果的な冷却技術の開発は喫緊の課題です。

現在、モバイル機器に広く用いられているグラファイトシートは、薄くて柔軟性があるものの、あくまで固体熱伝導による拡散型の放熱手法であり、高熱密度(高熱フラックス)には対応しきれないという課題があります。これに対して、ヒートパイプ(HP)やベーパーチャンバー(VC)は、**液体の蒸発潜熱を利用した高効率な熱輸送が可能**であり、実効熱伝導率が $5,000 \text{ W/mK}$ を超える場合もあります。しかし、HP や VC は、極薄化に伴って流路内の液供給に制約が生じ、熱輸送性能が急激に低下する傾向にありました。

本研究では、これらの課題を克服するために、 0.3 mm という世界最薄クラスのループヒートパイプ(Ultra-Thin Loop Heat Pipe: UTLHP)を新たに開発しました(図1参照)。ループヒートパイプ^{注1)}(LHP)は、蒸発器内のウィック^{注2)}(多孔体)にのみ毛細管力を働かせる構造で、**液体と蒸気の流路を分離**しているため、従来の HP や VC と比べて圧力損失が小さく、**長距離かつ高熱密度な熱輸送が可能**です。

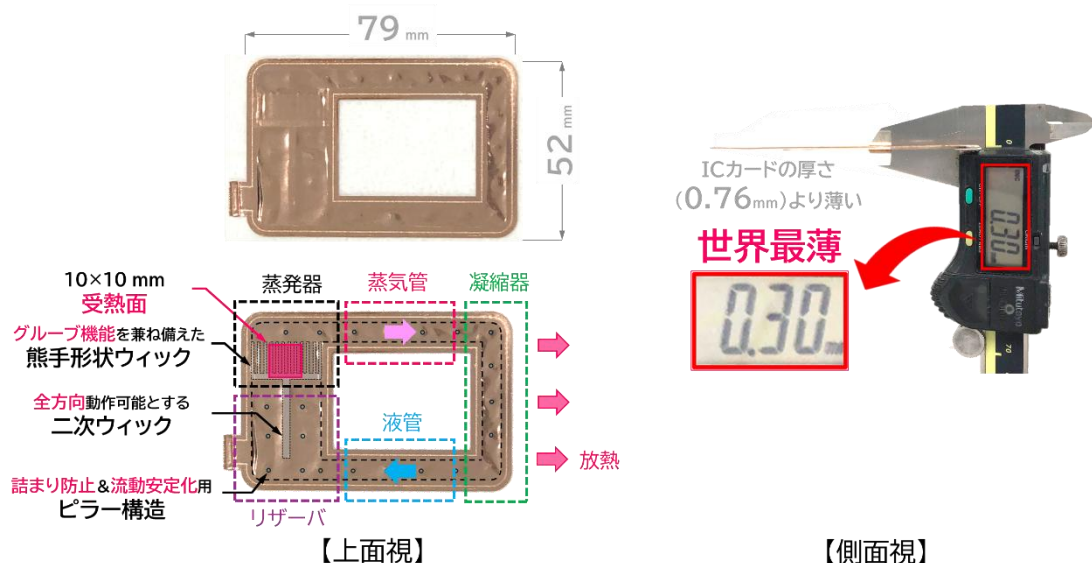


図1 UTLHP の概要

今回の UTLHP は IC カードサイズの銅板をベースに、焼結銅粉末による微細ウィック構造を実装し、レーザー溶接により気密性の高い構造体として一体化。また、ウィックは熊手形状にすることにより蒸気が抜けるグルーブ^{注3)}構造機能も兼ね備えています。水を作動流体とし、内部の流路に詰まり防止と流動を安定化させる柱(ピラー)構造を導入。また、あらゆる姿勢で動作できるように、二次ウィックを設けて液供給の安定性を確保しました。

さらに、これまでの UTLHP では冷却器(凝縮器)のサイズが大きく、モバイル機器への実装が困難でしたが、本研究では設計段階から数値モデルに基づく小型最適化を実施し、

薄型化・高性能化・実装性の三立を達成しました。

この UTLHP は、全 5 方向(水平・上下・縦横)で安定して最大 10 W の熱を輸送できることを実証し、スマートフォン内部の SoC(System on Chip)など小型高熱源の冷却用途において、大きな可能性を示しています。

本 UTLHP の動作性能を図2に示します。全 5 方向(水平・上下・縦横)の動作姿勢(図 2(a))で性能評価を実施しました。図2(b)では、動作姿勢に関係なく最大10Wの熱を輸送できることを確認。また各姿勢による冷却性能に大きな違いがないことが分かりました。熱の輸送において、熱の温度低下をできるだけ少なく輸送することが重要となってきます。その指標として熱抵抗^{注4)}がありますが、その値が小さければ熱輸送時の温度低下が少ないことを意味します。本UTLHPの最小熱抵抗は 0.48℃/W であり、熱輸送性能が高いことが分かりました(図 2(c))。また、本 UTLHP の熱輸送性能を実効熱伝導率^{注5)}で表すことで固体の熱伝導と比較することができます(図2(d))。

本 UTLHP の実効熱伝導率は約 18000W/m/K で、一般的に熱伝導が高いといわれている銅の約 45 倍、グラファイトシートの約10倍高いことが分かりました。

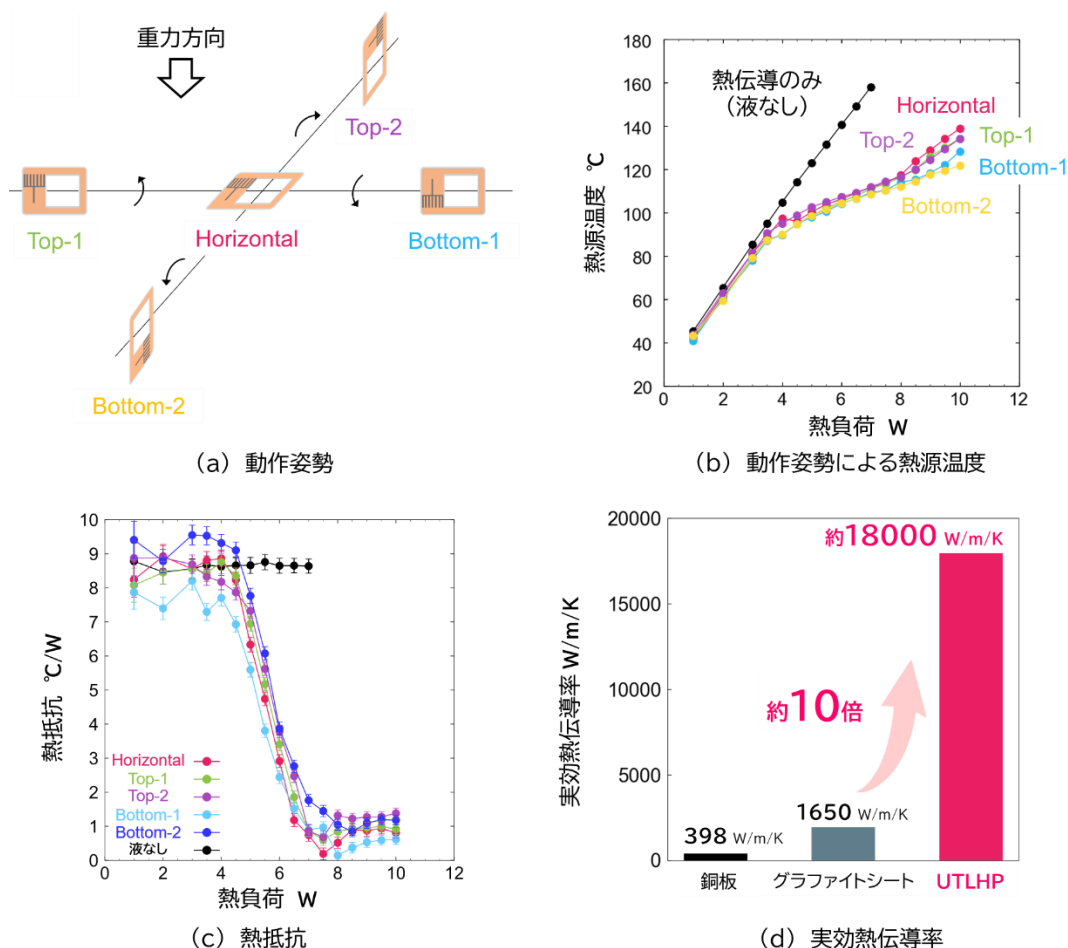


図2 UTLHP の動作性能

【成果の意義】

本成果は、スマートフォンやタブレット等のモバイル機器の放熱性能の飛躍的向上に貢献します。また IC カードの国際規格サイズ(85×54×t0.76±0.08 mm)に準拠しているため、今後高度化する IC カードの放熱にも適用することができます。

【用語説明】

注1) ループヒートパイプ(LHP):

ウィックの毛細管力を駆動源とする無電力の熱輸送デバイスである。360度あらゆる方向に熱を無電力で輸送することができる。

注2) ウィック:

無数の細孔からなるもので、液を吸収することで毛細管力を得ることができる。

注3) グループ:

蒸発器で生成した蒸気を蒸発器外に排出するための溝。

注4) 熱抵抗:

熱の伝わり方(輸送)性能を表す指標で、熱が伝わる(輸送する)ことによる温度低下量を伝熱量で除した値のことである。

注5) 実効熱伝導率:

熱の伝わり方(輸送)性能を熱伝導率に換算した指標で、熱抵抗と熱が伝わる距離とその断面積から算出する値のことである。

【論文情報】

雑誌名: Applied Thermal Engineering

論文タイトル: Development of a 0.3 mm ultra-thin loop heat pipe for 10 W heat dissipation in thin mobile devices

著者: Jun Sasaki(博士前期課程), Noriyuki Watanabe(特任准教授), Shinobu Aso(ポーライト(株)), Kazuki Sadakata(ポーライト(株)), Shigeyuki Tanabe(ポーライト(株)), Hosei Nagano(教授)

DOI: 10.1016/j.applthermaleng.2025.126230

URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359431125008221>



東海国立大学機構は、岐阜大学と名古屋大学を運営する国立大学法人です。
国際的な競争力向上と地域創生への貢献を両輪とした発展を目指します。

東海国立大学機構 HP <https://www.thers.ac.jp/>

