



配布先: 文部科学記者会、科学記者会、名古屋教育記者会

2024年7月9日

報道機関 各位

世界最大 10kW の排熱を無電力輸送する革新的技術 ～産業・住宅・ICT の熱マネージメントを一変させる画期的アプローチ～

【本研究のポイント】

- ・世界初！10kW の熱を無電力で 2.5m 先まで輸送可能なループヒートパイプ^{注 1)}を開発。
- ・蒸発器構造を工夫することで小型化と高い蒸発熱伝達性能を両立。
- ・電力不要で大量の熱を効率的に輸送、様々な分野での熱利用や冷却技術として期待。

【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、上野 藍 講師、Shawn Somers-Neal 博士後期課程らの研究グループは、電力を用いずに 10kW 以上の熱を輸送できるループヒートパイプ技術を新たに開発しました。

ループヒートパイプはウィック^{注 2)}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技術です。これにより、従来の機械式ポンプで消費されてきた電力が不要となります。

今回開発したループヒートパイプは、排熱を受けとる蒸発器の構造を最適化し、ウィック表面の液体を効率よく蒸発させることで、蒸発器のサイズを 18%小型化しつつ、熱伝達特性を 4 倍以上向上させ、最大で 10kW の排熱を 2.5m 先まで無電力で輸送することに成功しました。この規模の熱量を電力無しで運べる技術はこれまでにはなく、世界最大の無電力熱輸送を実現しました。

本技術は、工場排熱利用、太陽熱利用、電気自動車熱マネージメント、データセンターの冷却など、様々な分野の省エネ化やカーボンニュートラルに貢献します。

本研究成果は、2024 年 7 月 4 日付 Elsevier B.V.の発行する学術論文誌「International Journal of Heat and Mass Transfer」に掲載されました。

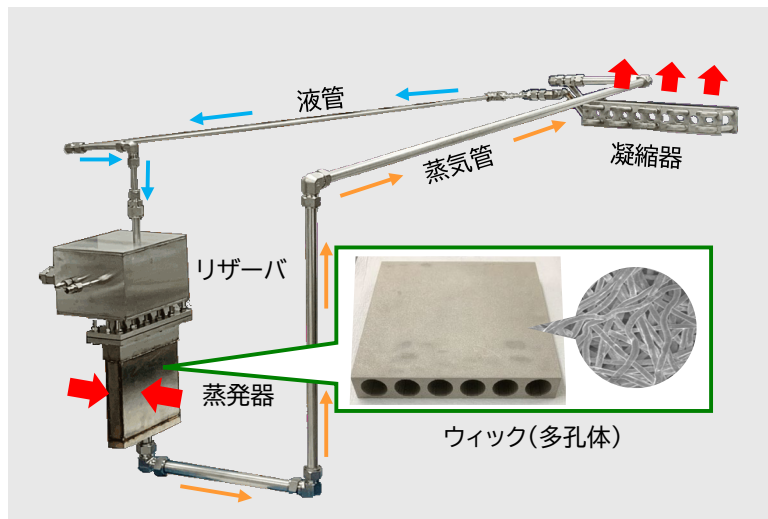


図1 開発した 10kW ループヒートパイプの外観

【研究背景と内容】

近年、電気自動車のインバーターの高出力化やデータセンターの高電力化に伴い、省エネで高効率な冷却方法が求められています。また、工場排熱や太陽熱など、これまで未利用であった熱エネルギーを有効活用する技術が注目されています。これらの熱利用には、排熱源から利用先までの距離が離れている場合が多いため、熱を損失なく運ぶ技術が不可欠です。

従来の機械式ポンプは電力が必要であり、顕熱輸送で効率が悪く、機械的な機構の寿命も短いという課題がありました。そのため、無電力で高効率に半永久的に熱を輸送する技術が求められていました。

ループヒートパイプは、ウィックと呼ばれる多孔質体が液を吸収する毛管現象をポンプの動力とする電力不要の熱輸送デバイスで、これまで電子機器の冷却などに使われてきたヒートパイプ等と比べて高いポンプ力を有しているのが特長です。これまで人工衛星の電子機器の冷却を対象とした、熱輸送量 100W、熱輸送距離 1m 程度の物が多く研究されてきましたが、本研究ではさらに適用範囲を広げるため、kW クラスの大型のループヒートパイプ、熱輸送距離 10m クラスの長距離ループヒートパイプ、モバイルデバイス冷却用の厚さ 1mm 以下の薄型ループヒートパイプなど、様々な研究開発を行ってきました。

ループヒートパイプの性能を上げるためには、ウィックで運ばれた液体を効率よく蒸気に変える蒸発器内の構造が重要になりますが、本研究では赤外域と可視域での顕微計測手法を開発し、実験と数値シミュレーションを通じて、ウィック近傍での液体、蒸気の振る舞いを明らかにし、熱伝達性能を上げるための蒸発器構造を提案しました。

今回開発したループヒートパイプは、蒸発器の構造を最適に設計し、また最適な放熱条件を設定することで、名古屋大学で過去に開発した最大のループヒートパイプよりも蒸発器のサイズを 18%小型化しつつ、熱伝達特性を 4 倍以上、熱輸送量を 1.6 倍以上に向上させました。その結果、最大 10kW の排熱を 2.5m 先まで無電力で輸送することに成功しました。

今回開発した蒸発器は、従来一方向で構成されているグループ^{注3)}を、3D 微細グループ構造(グループ幅×高さ×ピッチ: 1×2×2mm)を蒸発器ケース内側四面に採用することにより、ウィックとグループでの冷却性能(蒸発効率)を格段に上げることに成功し、4.5kW 熱輸送時には、蒸発熱伝達率^{注4)}92000W/(m²K)を達成しました。ウィックはステンレス製のブロック型(W143×L145×H22)を用いており、ウィック高さやウィックコア数、ウィックコア径は、ウィック部の有効厚さをパラメータに、ループヒートパイプの性能に関係が深い熱リークと流動圧損が最小になるように決定しました。その結果、最大10kW までの熱輸送を確認するとともに、熱源面積換算した熱流束^{注5)}は最大で30W/cm²を達成しました。この規模(10kW)の熱量を電力無しで運べる技術はこれまでにはなく、世界最大の無電力熱輸送を実現することができました。

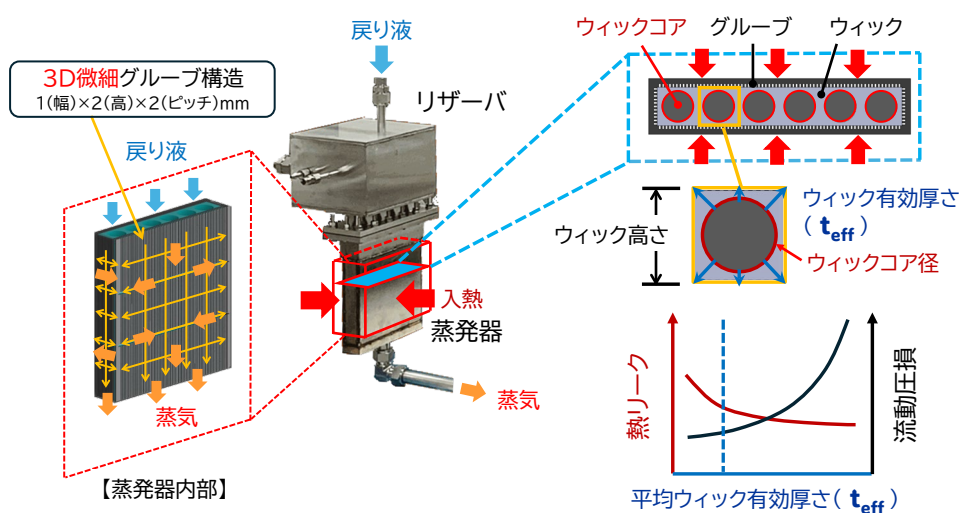


図2 高熱輸送性能を追求した蒸発器形状

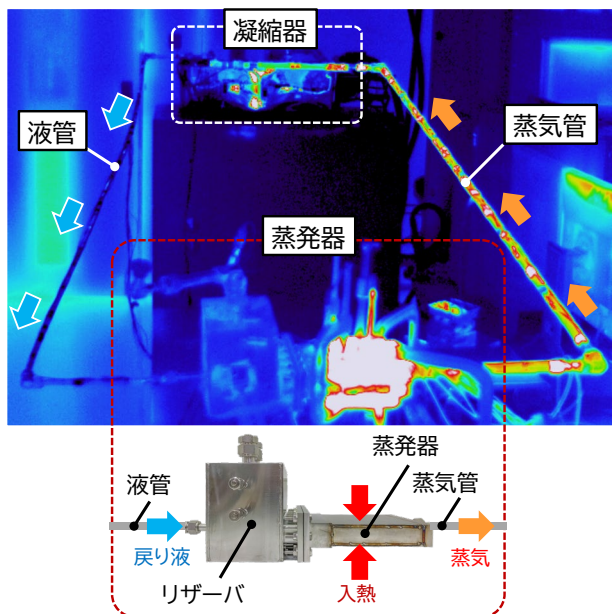


図3 水平姿勢で動作させたときのサーモグラフィー結果

【成果の意義】

本技術は、電気自動車、データセンター、月面探査機などの熱マネージメントの省エネ化に貢献します。また、工場排熱や住宅における太陽熱利用など、これまで無駄に捨てられていたエネルギーを有効活用することで、カーボンニュートラルの実現にも寄与します。

本研究は、2022年度から始まったJST共創の場形成支援プログラム(COI-NEXT)『セキュアでユビキタスな資源・エネルギー共創拠点』の支援のもとで行われたものです。

【用語説明】

注1) ループヒートパイプ:

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) 蒸発熱伝達率:

蒸発による冷却性能を表す指標で、単位面積、単位時間、単位温度あたりの伝熱量のことである。

注5) 熱流束:

伝熱面の冷却性能を表す指標で、単位面積、単位時間あたりの伝熱量のことである。

【論文情報】

雑誌名: International Journal of Heat and Mass Transfer

論文タイトル: Experimental investigation of a 10 kW-class flat-type loop heat pipe for waste heat recovery

著者: Shawn Somers-Neal(博士後期課程), Tatsuki Tomita(本学卒業生), Noriyuki Watanabe(特任准教授), Ai Ueno(講師), Hosei Nagano(教授)

DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2024.125865>

URL:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0017931024006963>



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/>