

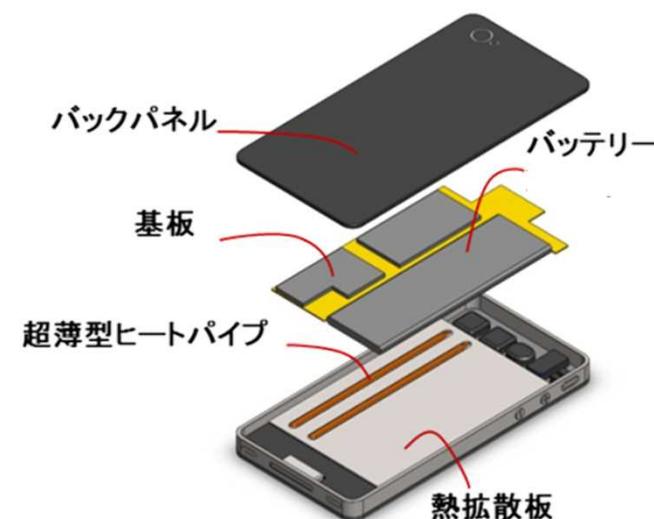
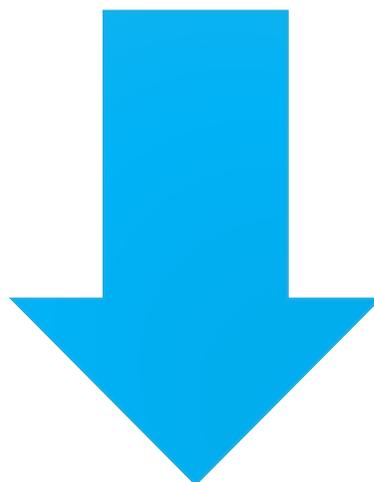
2019年5月14日

新技術説明会
New Technology Presentation Meetings!

世界最小の熱輸送デバイス の開発に向けて

電気通信大学 情報理工学研究科
機械知能システム学専攻
教授 大川富雄

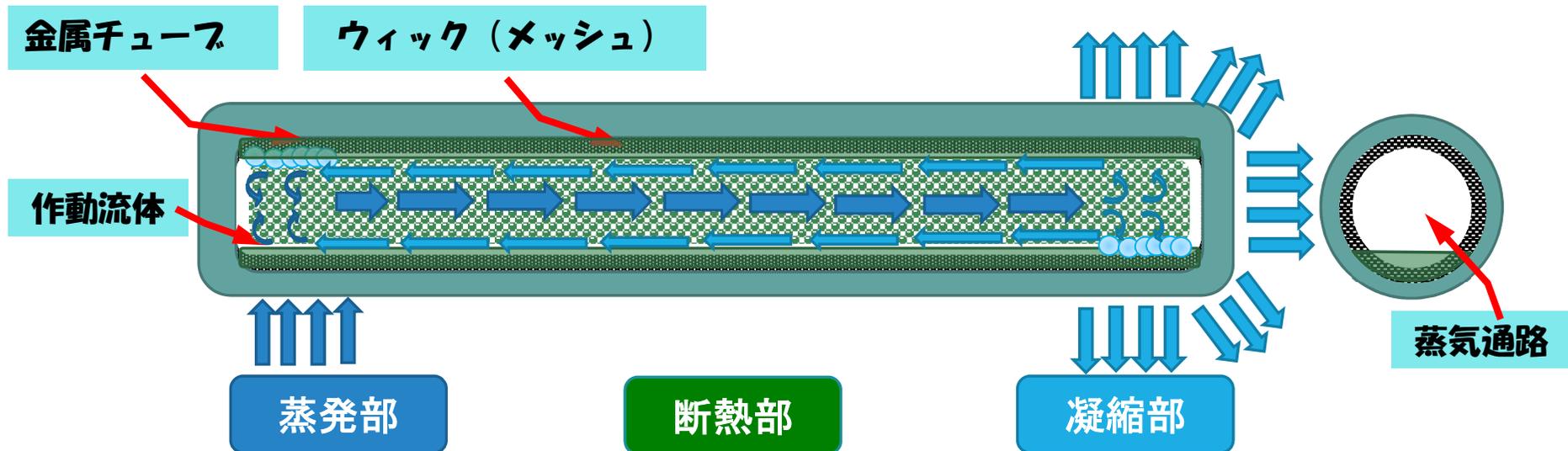
- ▶ 電子機器の高性能化では、発熱密度の増加がしばしば必要。
- ▶ 特に、スマホやタブレットPC等では、冷却システム用のスペースが限られている。
- ▶ 多くの電子機器の設計で、冷却性能がボトルネックとなる。



ヒートパイプは、シンプルかつ高効率の熱輸送機器であり、小型電子機器の冷却に広く使用されている。

Heat pipes in smartphone: http://www.fujikura.co.jp/products/electronics/thermal/01/2044118_12671.html

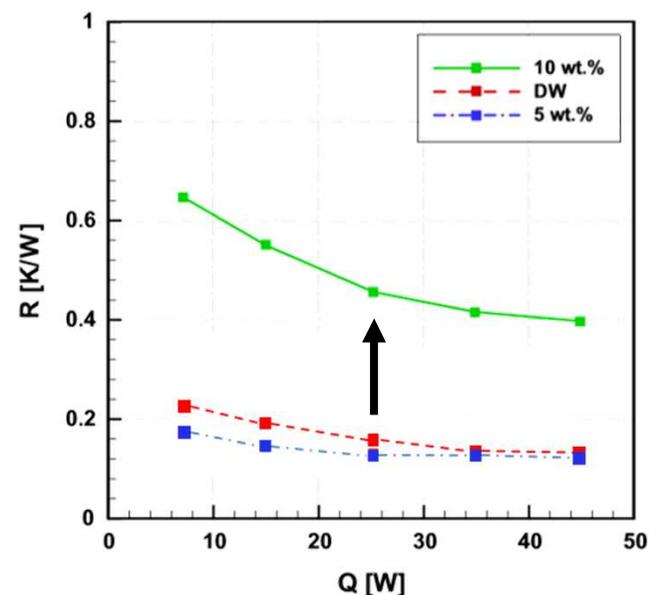
ヒートパイプの原理



- ▶ 蒸発部：発熱部の熱を吸収して、作動液が蒸発。
 - ▶ 蒸発部から凝縮部に、蒸気が移動
 - ▶ 凝縮部：外部冷却により蒸気が凝縮
 - ▶ ウィックの毛管力によって、凝縮部から蒸発部に作動液が移動
- 凝縮液を蒸発部に「速やかに」移動させる技術が必要

色々なウィック

- ▷ 代表的なウィックと課題
 - ▷ 溝, 金網, ファイバー, 焼結金属・・・場所をとる。毛管力が小さい。
- ▷ 作動流体としてナノ流体を使用
 - ▷ 熱伝導率の向上？ナノ粒子層がウィックとして機能？



The thermal resistance of the heat pipes

Ghanbarpour et al., 2015. Thermal performance of screen mesh heat pipe with Al₂O₃ nanofluid, ETFS.

ナノ粒子層

- ▶ 高温に熱した固体をナノ流体に浸漬すると、固体の表面にナノ粒子層が形成される。(Umehara et al., 2017. Effect of surface properties on quenching characteristics of high-temperature body, 10th International Symposium on Measurement Techniques for Multiphase Flow)
- ▶ ナノ粒子層はきわめて薄く、強力な毛管力を有し、かつ、**安価**に形成できる → ナノ粒子層をウィックに使えないか？

・普通銅管の毛管力



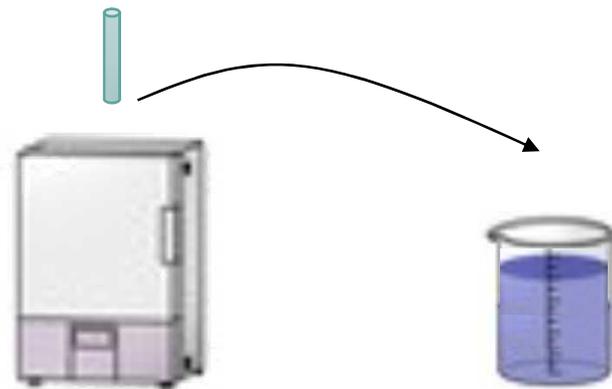
・ナノ粒子層の毛管力



ナノ粒子層の形成(金網)

- ▷ 円筒状の真鍮製スクリーンメッシュを恒温槽に入れ、800°C雰囲気
気で5分間加熱した後、粒子濃度0.4kg/m³のシリカ(AEROXOIDE
90 G)ナノ流体に浸漬した。メッシュ全体にナノ粒子層を形成する
ため、これを3回程度繰り返した。ナノ粒子層を形成した。ナノ粒
子の付着量は1.9~2.8 g/m² (酸化物の質量11g/m²)であった。

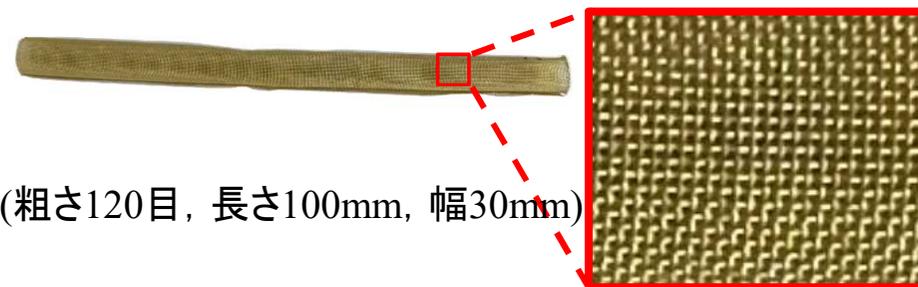
実験方法:



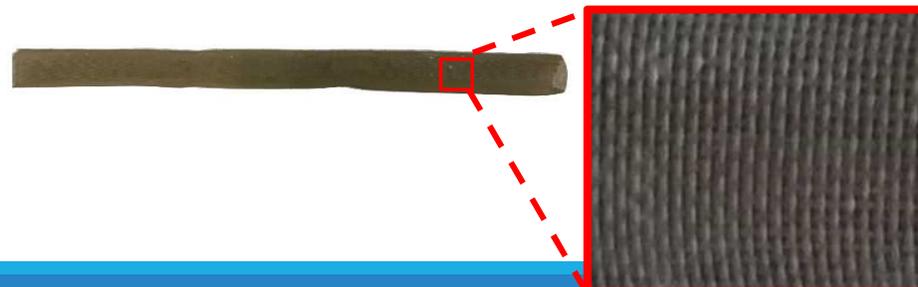
ステップ1: 加熱

ステップ2: 冷却

(a) 普通のメッシュ:



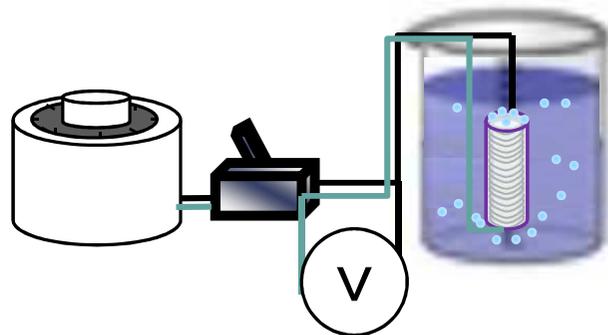
(b) ナノ粒子層付けのメッシュ:



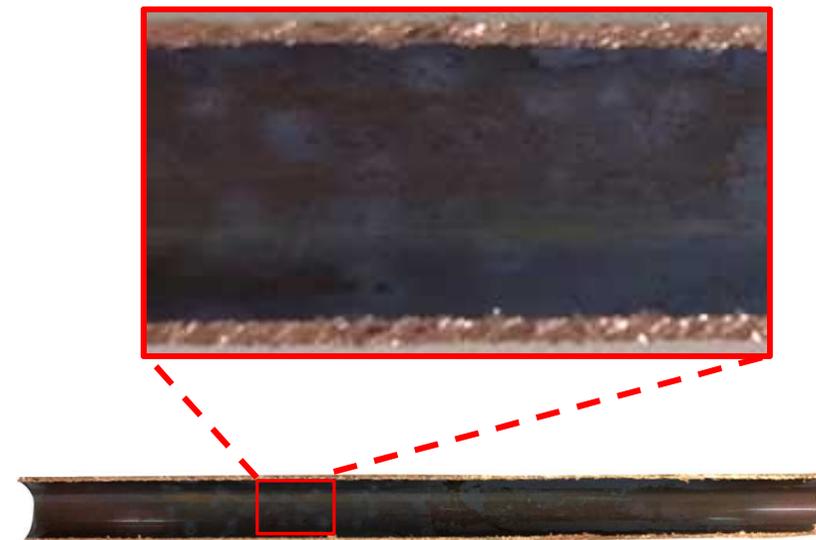
ナノ粒子層の形成(銅管の内壁)

- ▶ 銅管の外部にニクロムワイヤヒーターを巻き、耐熱ポリミドテープとフッ素テープにより電気絶縁と断熱を行った。粒子濃度 0.4 kg/m^3 のシリカナノ流体に浸漬した後、ボルトスライダーを用いて、ニクロムワイヤヒーターに投入する交流電力を 180 kW/m^2 に調節し、銅管の内面で核沸騰を生じさせ、ナノ粒子層を形成した。本手法で生成されるナノ粒子の付着量は $1.5 \sim 2.0 \text{ g/m}^2$ であった。

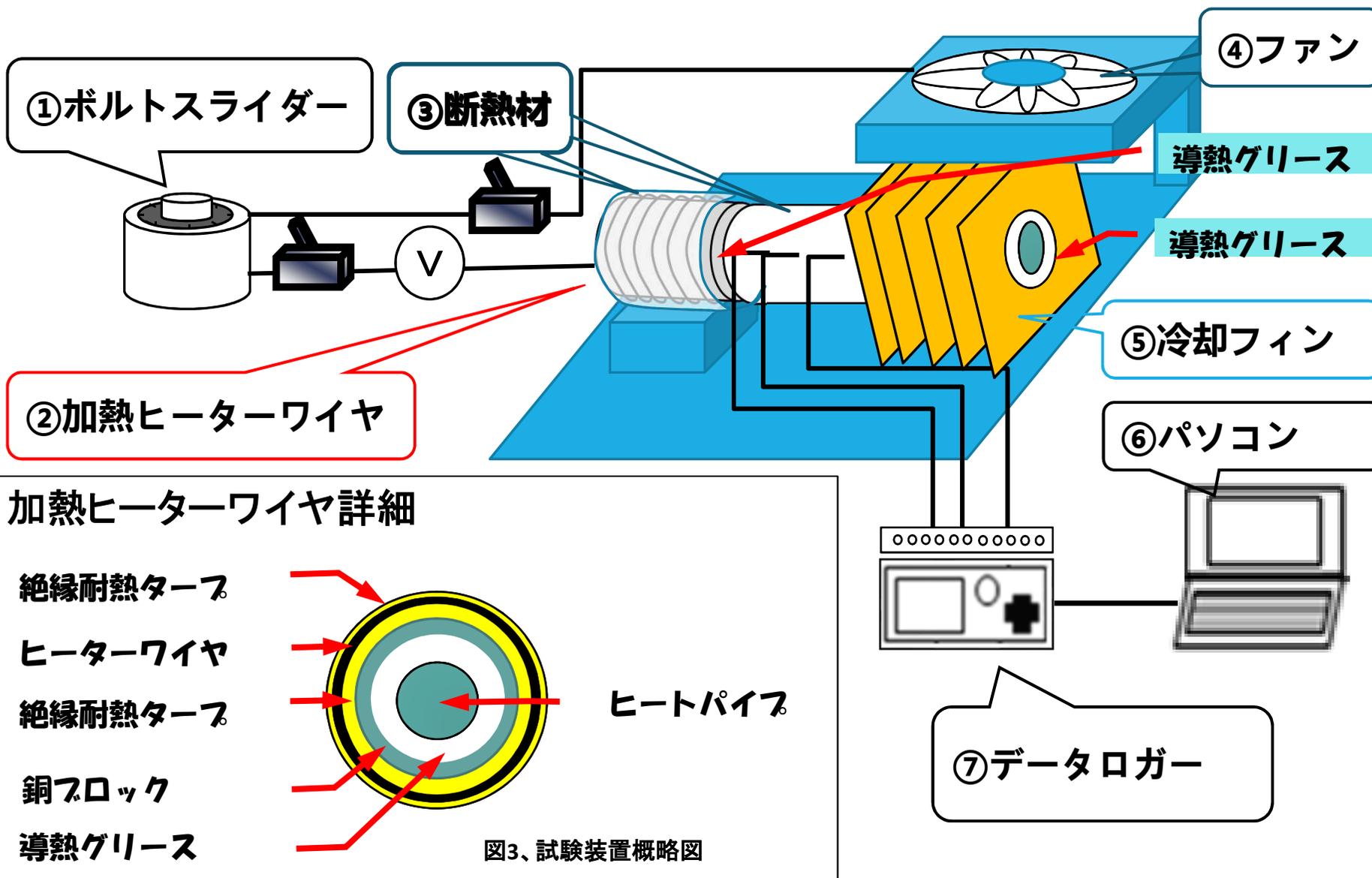
実験方法:



ナノ粒子層付けの銅チューブ:



実験装置



実験回路

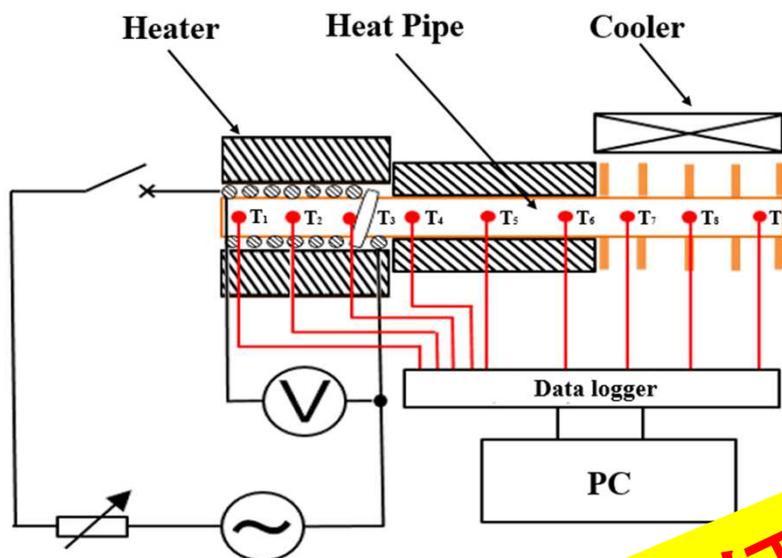


Fig. 4 Schematic diagram of experimental setup

実験方法:

・ヒートパイプの左側は蒸発部であり、ニクロムワイヤヒーターを用いて加熱する。

・ヒートパイプの右側は凝縮部であり、銅製のフィンを設置するとともに、ファンを用いて冷却する。

・フィンとヒートパイプの接触部に熱伝導性のグリースを充填する。

・ヒートパイプの図中左端より5, 15, 25, 40, 55, 70, 85, 95 mmの9ヶ所にスポット溶接したK型熱電

温度差が小さいほど良いヒートパイプ

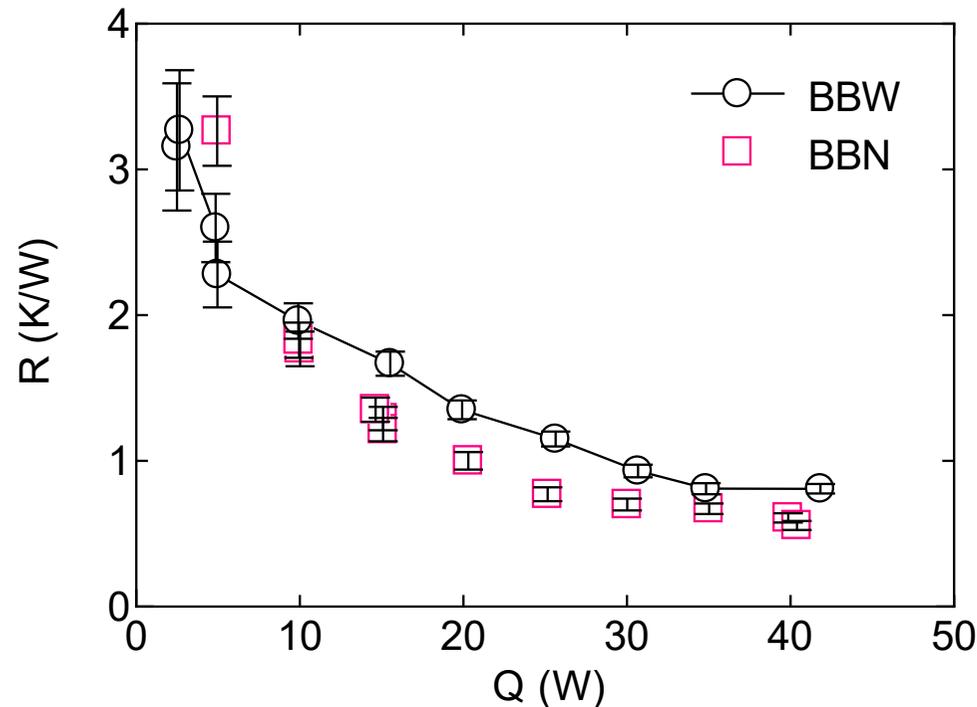
・ヒートパイプに投入する電力 Q は、ボルトスライダーを用いて、3~25Wの範囲で実験を行う。

・ヒートパイプの熱抵抗 R はヒートパイプの熱輸送量 Q と蒸発部温度 T_e 、凝縮部温度 T_c を用いて、次式で定義した。

$$R = \frac{T_e - T_c}{Q} \quad (1)$$

ヒートパイプ	
サイズ	外径10mm, 厚さ0.5mm, 長さ100mm
形状	円筒状
充填率	10%~25%

実験結果（作動流体の影響）



▷ 記号の説明

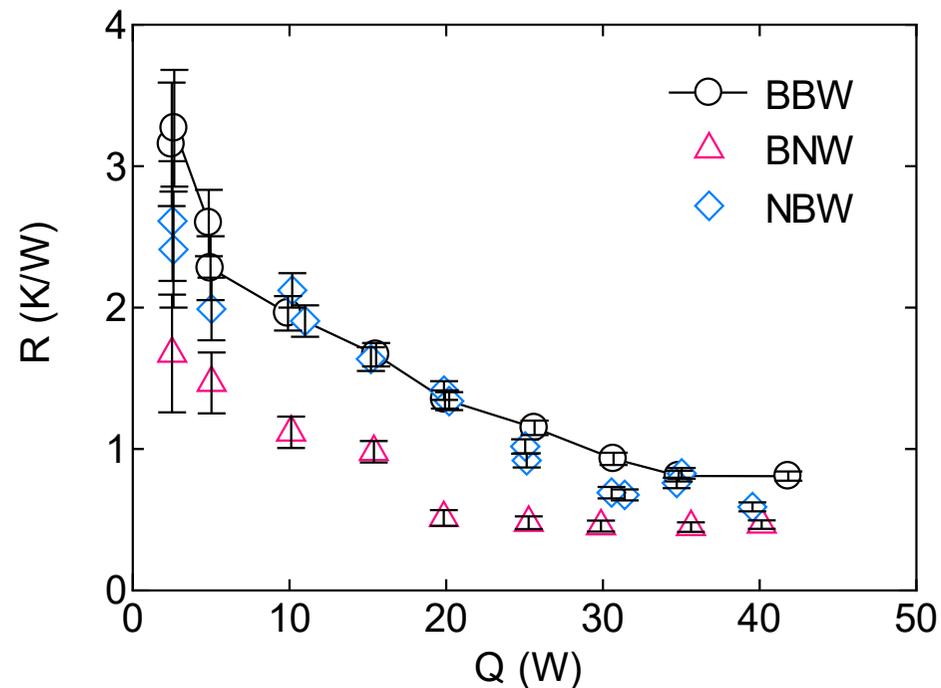
▷ BBW : Bare tube / Bare mesh / Water

▷ BBN : Bare tube / Bare mesh / Nanofluid

▷ 水とナノ流体では、ナノ流体の方が少し良い

▷ 既存研究と同様

実験結果(ナノ粒子層の影響)

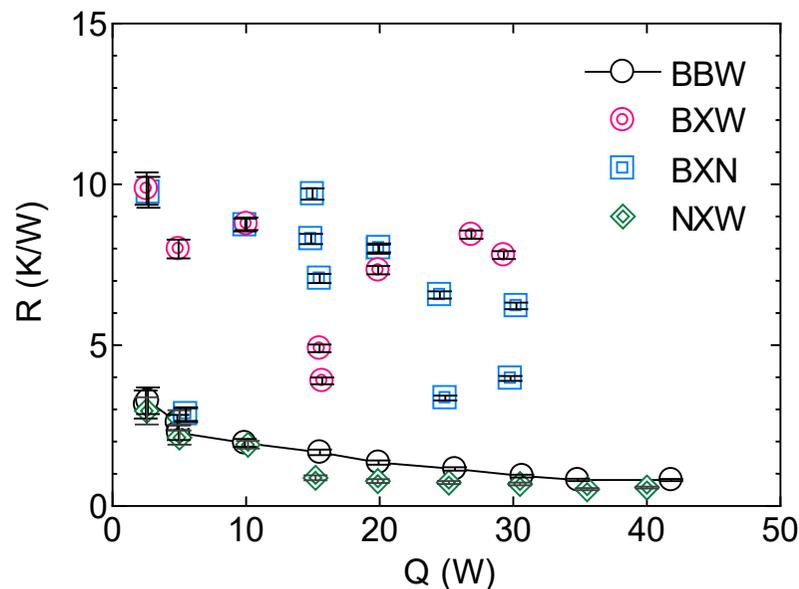


▷ 記号の説明

- ▷ BBW : Bare tube / Bare mesh / Water
- ▷ BNW : Bare tube / Nano-coated mesh / Water
- ▷ NBW : Nano-coated tube / Bare mesh / Water

- ▷ ウィックであるメッシュをナノ粒子コートすると格段に性能向上!!
- ▷ 管の内壁をナノコートしてもあまり変わらない...

実験結果（ウィックを削除できるか？）



▷ 記号説明

- ▷ BXW : Bare tube / No mesh / Water
- ▷ BXN : Bare tube / No mesh / Nanofluid
- ▷ NXW : Nano-coated tube / No mesh / Water

▷ 金網を取り除くと、著しく性能低下

- ▷ 水をナノ流体に代えてもほぼ変わらない。

- ▷ 内壁をナノコートしておくと、むしろ性能向上!!

従来技術とその問題点

- ▶ 従来のヒートパイプでは、ウィックとして、溝、金網、ファイバー、焼結金属などを使用。
- ▶ ウィックの毛管力は、ポアサイズの減少とともに強力になる。従来技術におけるポアサイズはサブミリメートルのオーダー。
- ▶ ヒートパイプの小型化のためには、薄いウィックが必要。従来技術におけるウィックの厚さはやはりサブミリメートルのオーダー。

新技術の特徴・従来技術との比較

- ▶ 従来技術に比較して、より小さいポアサイズと薄いウィックの作成に成功した。
- ▶ ナノ粒子層
 - ▶ ポアサイズの計測は実施していないが、原理的には、サブミクロンのポアを容易に製作可能。
 - ▶ 現段階では、極薄のナノ粒子層の製作を意図しておらず、達成された厚さは0.1mm程度。ただし、粒子サイズは100nm以下なので、原理的に、サブミクロンの極薄ウィックを製作可能。
- ▶ 実験結果のまとめ
 - ▶ ウィックにナノ粒子層を形成することで、熱抵抗を約半分にできた。(熱輸送性能の向上)
 - ▶ 管の内壁にナノ粒子層を形成すれば、ウィックを削除できる。(省スペース)

実用化に向けた課題

- ▷ 「熱輸送性能」と「省スペース性」の飛躍的向上を確認。
- ▷ 実験条件がまだ限られている。
 - ▷ ヒートパイプの姿勢(トップヒートなど)の影響や熱輸送可能距離(ヒートパイプ長さ)について、実験的に検討する。
- ▷ 理論検討を行うための実験情報が不足
 - ▷ ポアサイズの計測
 - ▷ 製作可能なナノ粒子層厚さの検討
- ▷ 工業製品に実装していない。
 - ▷ 実装した状態で、性能確認を行い、課題を抽出したい。

- ▶ 本技術の実装性について検討するため、工業機器で、ヒートパイプを用いた熱輸送を実際に手掛けている企業との共同研究を希望
- ▶ 「熱輸送性能の向上」 and/or 「ヒートパイプの小型化」を必要としている企業への本技術の導入（技術移転）を希望

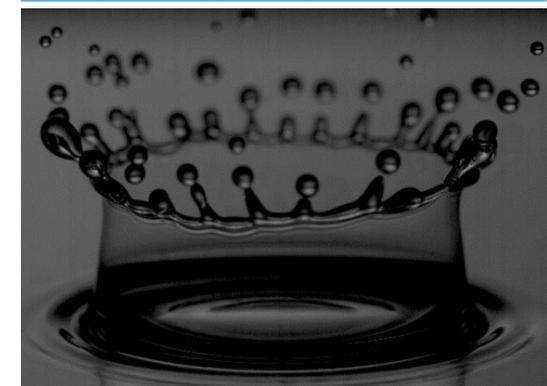
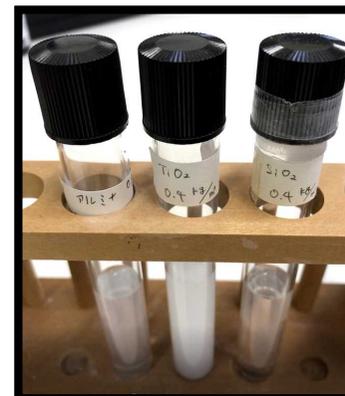
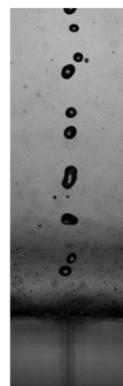
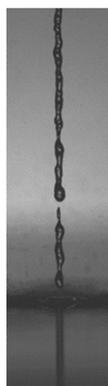
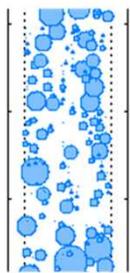
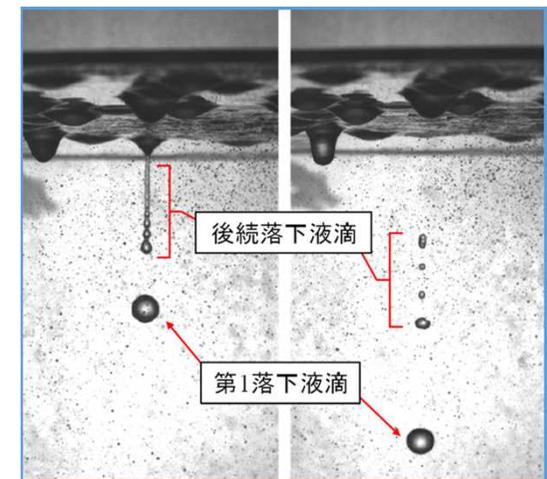
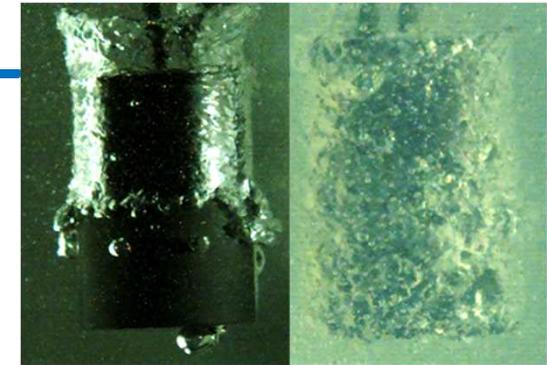
本技術に関する知的財産権

- ▷ 発明の名称 : ヒートパイプおよびヒートパイプ製造方法
- ▷ 出願番号 : 特願2018-197126
- ▷ 出願人 : 電気通信大学
- ▷ 発明者 : 大川富雄、王萌蕾

- ▷ 2018年～2019年 JKA機械振興補助事業採択
- ▷ 謝辞
 - ▷ この事業は、競輪の補助を受けて実施しました。

その他の研究テーマ

- ▷ サブクール沸騰(原子炉安全解析)
- ▷ 噴流(ナトリウム冷却高速炉、化学プラント)
- ▷ ナノ流体(機器冷却、焼入れ、ヒートパイプ)
- ▷ 液滴衝突(ミルククラウン)
- ▷ 高温物体の冷却メカニズム(原子炉事故)
- ▷ 溶融塩フリーズバルブ(新型原子炉、蓄熱)
- ▷ 液面からの液滴発生(新型原子炉)



お問い合わせ先

- ▷ 電気通信大学
- ▷ 産学連携コーディネーター 今田 智勝
- ▷ TEL 042-443-5724
- ▷ FAX 042-443-5726
- ▷ e-mail imada@sangaku.uec.ac.jp