

令和 3 年 5 月 6 日現在

機関番号：12608

研究種目：挑戦的研究(萌芽)

研究期間：2018～2020

課題番号：18K19125

研究課題名(和文)ライデンフロスト現象を用いた新規低温廃熱エネルギー回収システム開発への挑戦

研究課題名(英文) development of new system for energy recovery on Low-temperature waste heat using Leidenfrost phenomena

研究代表者

中島 章 (NAKAJIMA, Akira)

東京工業大学・物質理工学院・教授

研究者番号：00302795

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,900,000円

研究成果の概要(和文)：平滑なSi基板およびラチェット構造を付与したZn板上にZnOナノロッド(ZnO-NR)を形成し、ライデンフロスト現象を調査した。Si基板での結果から、ライデンフロスト温度の低下に適切な固液接触面積分率があることが明らかになった。Zn板での実験から、水滴の自走は核沸騰由来と重力由来に分けられ、温度と構造に依存することが明らかになった。特にZnO-NRを1つおきに配置した表面では、自走温度の低下と自走速度の上昇の両方が実現することが示唆された。ラチェット構造を表面に有するライデンフロストリングを用いて磁性流体に回転運動を誘起し、軌道上にコイルを設定することで誘導起電力が得られた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

現状での廃熱利用は既存技術で利用しやすい400°C以上の高温廃熱が中心であり、300°C以下の低温廃熱は、十分に利用されているとは言えない。この温度域の熱エネルギーは技術的に回収が行いにくく、その有効利用のための技術開発が求められている。本研究では、この温度領域で発現する「ライデンフロスト現象：液体が沸点よりも高温の固体表面に接触した際に、液体が揮発することで蒸気膜が形成され浮遊する現象。その結果、液体の急激な蒸発が抑制される効果」に着目し、この現象を効果的に固体材料表面上に発現させ、液滴の回転運動を誘起することで、従来困難であった100～300°Cの廃熱の回収を可能にする。

研究成果の概要(英文)：Zinc oxide nanorods (ZnO-NR) were prepared onto Si wafer by hydrothermal process. The Leidenfrost point against water droplet for ZnO-NR exhibited a trend to decrease with increasing contact angle, however it depended on solid-liquid contact area ratio. The self-propulsion of water droplets on a Zn plate with a ratchet structure was nucleate boiling (160-200°C) and gravity (200°C<) . Both the temperature for self-propulsion and the velocity of the self-propelled droplets were decreased by ZnO-NR modification of the Zn plate surface with a ratchet structure. The dominant driving force of the droplet motion on the sample surface was inferred as gravity. The sample modified with ZnO-NR onto every other ratchet attained self-propulsion with low temperatures and high moving velocity simultaneously, suggesting the importance of the roughness arrangement for the ratchet structure. Electromotive force was obtained by using a magnetic fluid and Leidenfrost ring.

研究分野：無機材料

キーワード：ライデンフロスト 磁性流体 ラチェット 核沸騰 重力 酸化亜鉛 ナノロッド

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

## 1. 研究開始当初の背景

我が国の中長期的なエネルギー政策の指針となる「エネルギー基本計画」は2014年4月に閣議決定され、製造業では工場廃熱等の未利用熱エネルギーの有効活用が求められている。しかしながら、現状での廃熱利用は既存技術で利用しやすい400°C以上の高温廃熱が中心であり、300°C以下の低温廃熱は、エントロピーが増大しているため、十分に利用されているとは言えない。この温度域の熱エネルギーは技術的に回収が行いにくく、その有効利用のための技術開発が求められている。工場廃熱(廃熱水)を用いたゼーベック熱電変換やランキンサイクル発電が候補として考えられているが、大規模な設備や資源的な制約から実用化が困難であり、発想の転換が求められている。

“ライデンフロスト現象：液体が沸点よりも高温の固体表面に接触した際に、液体が揮発することで蒸気膜が形成され浮遊する現象。その結果、液体の急激な蒸発が抑制される効果(図1)”は、1750年代にJ. G. Leidenfrostにより報告された。2000年以前はこの現象に関する研究はあまり盛んではなかったが、2010年代に入り、この現象を改めて学術的に取り扱う研究報告が見られるようになり、近年その数が増加している。それらの中で、高温を有する固体表面に鋸の歯のような連続的なラチェット構造を付与すると液滴から生成された蒸気が推進力となり、液滴を水平移動させることができることが示された。その水滴が固体表面に付着しない様子は、2000年代から我々が取り組んだ“超撥水性表面”上での水滴の挙動に酷似している。

図2に示すように、ライデンフロスト現象が発生する温度域は、社会的に回収要請の高い低温廃熱の温度域と一致する。我々は撥水材料や動的撥水性に関する研究をこれまで数多く実施してきた経験から、文献等で目にする機会が多くなったライデンフロスト現象と動的撥水性との関連を考えた際に、「ライデンフロスト現象を用いた液滴回転運動」を利用することで、従来困難であった100~300°Cの廃熱を回収が安全かつ効果的に可能になると着想し、本申請に至った。

## 2. 研究の目的

我が国は温室効果ガスを2020年までに1990年比で25%削減することを政府目標として掲げており、温暖化防止策が産業界にも求められる中において、低温廃熱の回収・利用は近年ますます重要な課題になりつつある。本研究では、この温度領域で発現する「ライデンフロスト現象」に着目し、この現象を効果的に固体材料表面上に発現させ、液滴の高速回転運動を誘起することで、低温廃熱を回収するこれまでにない「新規熱電変換デバイスコンセプト」に挑戦する。この現象を用いた熱電変換デバイスの原理は以下のとおりである。

- 1) 適切なラチェット構造を有するリング状固体表面を加熱することで、水滴が低温でライデンフロスト現象を発現
  - 2) 固体表面上のラチェット構造により水系の磁性流体が自発的に所定の軌道を周回
  - 3) 磁性流体の液滴が周回する線にコイルを設置し、電磁誘導により電力へ変換
- 本研究では
- ライデンフロスト現象による水滴運動を効果的に発現させる固体表面の構造や濡れ性の設計指針の構築
  - ライデンフロスト現象により移動する水滴の内部流動ダイナミクスの解明
  - 得られた知見に基づく熱電変換機構(デバイス)の試作
- に焦点を当て、ライデンフロスト現象による水滴運動に関する学理を構築することを研究目的とした。

## 3. 研究の方法

### 1) ライデンフロスト現象を与える表面微構造の探索と基礎的知見の取得

ライデンフロスト現象は、通常の平滑表面では250°C程度の温度を必要とする。しかしながら表面エネルギーが低く、固/液界面に効果的に水蒸気圧をため込む適切な粗さ構造を実現すると、その発現温度(ライデンフロスト温度またはライデンフロスト点と呼ばれる)が低下する。本研究では平滑なZn板とラチェット構造を形成したZn板上にZnOナノロッドアレイを水熱法により効果的に組み合わせ、この表面にフッ素系シラン(FAS, 200°C付近までの熱サイクルに対して十分な耐性を有する)をコーティングすることで、250°C以下でライデンフロスト現象を起こす表

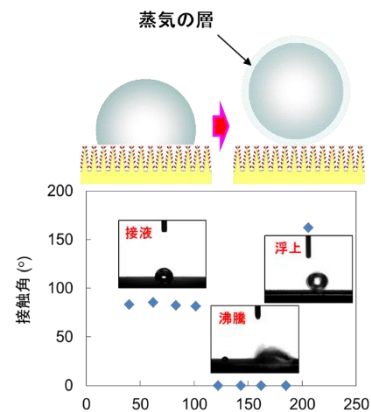


図1. ライデンフロスト現象の概念図と、フッ素系シランで撥水化したSi表面上での高温での水滴の接触角。200°C付近でライデンフロスト現象が起きていることがわかる。

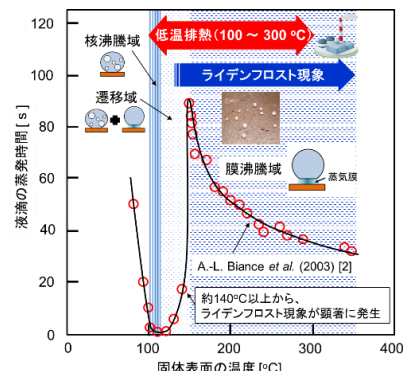


図2. 固体表面の温度と液滴の蒸発時間との関係。ライデンフロスト現象が顕著になる温度域(蒸発時間が長くなる温度域)は低温廃熱温度域と重なることが分かる。

面を作製した。また我々が独自に開発した粒子画像流速計測（PIV）法を用い、水滴が移動する際の内部流動を直接観察して、主な駆動力を検討した。

## 2) ライデンフロスト現象による液滴の運動をエネルギーに変換するデバイスの試作

液滴に水系の磁性流体を用い、ラチェット構造を有するリング状固体表面を加熱してライデンフロスト現象を誘起させ、その上にコイルを設定することで、電磁誘導によるエネルギー変換の可能性を検討した。

材料科学・表面科学を専門とする東工大の中島が、固体側の表面設計とそれらがライデンフロスト現象の発現温度や液滴の回転運動に及ぼす影響に関する基礎的知見の取得を担当し、熱流体工学、システム工学を専門とする茨城大学の酒井が、熱電変換デバイスに関する機構構築と設計指針の探索を行った。さらに、大学院生2名が実際の作業を担当した。

## 4. 研究成果

### 1) ライデンフロスト現象を与える表面微構造の探索と基礎的知見の取得

#### 1-1.) 平滑 Si 基板の上に ZnO ナノロッドを形成した試料での結果

Si ウエハー上に水熱法によって ZnO ナノロッド (ZnO-NR) を作製し、撥水性シランをコートしてライデンフロスト現象を調査した。前駆体溶液濃度を調整してロッド径と固液面積分率を制御した。接触角の増大とともにライデンフロスト温度が低下した。これらの試料の撥水モードは Cassie モードと考えられ、接触角が高い試料は、固体と液体との接触面積分率 ( $f$  値) が低いと考えられた。ロッド構造では、固液界面に水蒸気を効果的に貯めることができると考えられる。

一方、ライデンフロスト現象が起きるためには固液界面で水蒸気の圧力が高まり、水滴を浮上させることが必要である。従って固体と液体との接触面積分率が極端に少ないと、水蒸気を効果的に固液界面にため込むことができず、ライデンフロスト現象を実現できない。 $f$  値の増加とともにライデンフロスト温度は上昇したが、一方で  $f$  値が減少する際にもライデンフロスト温度が上昇する傾向がみられた。このことは、撥水表面でのライデンフロスト温度に及ぼす粗さの効果には、 $f$  値の大きさが寄与することを示している。

#### 1-2.) ラチェット構造を形成した Zn 板に ZnO ナノロッドを形成した試料での結果

水熱処理により、Zn 板上に ZnO ナノロッド (以下 ZnO-NR) を形成した試料を作製した。水熱処理は、ラチェット構造がある Zn 板と、ラチェット構造がない平坦な Zn 板、ラチェットの斜面の一つおきにマスキングテープを貼った Zn 板のそれぞれに対して実施した。本研究ではピッチ 1.5 mm、高さ 0.2 mm のラチェット構造を、Zn 板表面に切削加工により形成した。水熱処理前後の各試料はフッ素系のシランをコーティングした。以下本研究ではラチェット構造がある Zn 板をデフォルト基板、デフォルト基板の全面に ZnO-NR を形成した試料を default\_ZnO-NR、マスキングテープを用いて ZnO-NR をラチェットの1つおきに形成した試料を default\_ZnO-NR\_skip1 と記述する。各試料を 40~200°C に加熱し、20°C ごとに 3  $\mu$ L の蒸留水を設置し、完全に蒸発するのに要する時間を計測することでライデンフロスト点を測定した。次に各試料を 140~240°C に加熱し、その上に 30  $\mu$ L の水滴を置いて、試料上の水滴の自走を高速カメラにより撮影した。を 図 4 に示す。さらにシートレーザーと蛍光粒子を用いて、自走する水滴内部の流動状態を PIV により可視化して観察した。

水熱処理により、Zn の表面には 200 nm 程度の径のロッド構造が形成されていることが分かった。ラチェット構造がある Zn 板上には同様の ZnO-NR が全面にわたって形成されており、ラチェットの斜面の一つおきにマスキングテープを貼った Zn 板上では、1つおきのラチェットに ZnO-NR が形成されていた。

ZnO-NR を形成する前の Zn 板ではライデンフロスト点は 146.2°C であったが、ZnO-NR 形成後は 125.1°C まで低下した。この結果は静的な条件ではあるが、デフォルト基板上でも 146.2°C 以上では、概ね膜沸騰の状態が得られていると考えられる。

ラチェットが形成されたデフォルト基板上では水滴の自走は 160°C から 240°C の範囲で確認された。水滴の自走挙動は、温度により 2 つの傾向に大別された。1 つは水滴が変形を伴いながら比較的高速で自走する領域で 160°C から 200°C で見られ、もう一つは水滴が楕円球状を概ね保ちながら低速で自走する領域で、200°C を超える温度で見られた。前者では、水滴は移動過程で微小な液滴を噴出しながら小さな変形を繰り返し、時々跳ね上がるような大きな変形が見られた。着液後すぐに内部の流動はラチェットの傾きに対して法線方向 (図 5 で時計回り) に回転することが確認された。この流動は、液滴下部から流出する蒸気の粘性剪断力によるものと考え

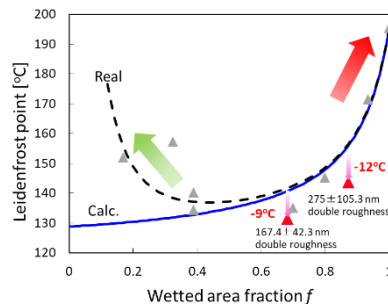


図 3. 固液接触面積分率 (横軸) と実測されるライデンフロスト温度 (縦軸) との関係

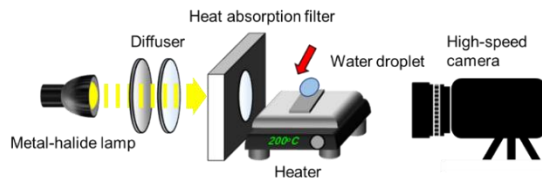


図 4. 水滴の自走の撮影系の模式図



られる。しかし自走途中で大きく変形する際に、この内部の流動が乱されることが分かった。これらの特徴から、この温度域では局所的に固体と水滴が接触することで核沸騰が発生し、それにより生じる大きな熱流束（多量の水蒸気）が主な駆動力になっていることが考えられた。

水滴はラチェットの壁面に接近して熱を受け取り、蒸発が起こる。また、液滴上部は常に大気により冷却されている。ここに上記の内部流動が加わると、液滴の前端には温められた液体が供給され、後端には冷やされた液体が供給される。したがって、前端で接近するラチェット角部では比較的蒸気膜ができやすい状態になり、逆に後端側の角部は蒸気膜ができにくい。このため、比率的に液滴後端では固体との接触が多くなり、このことが推進力になっていると考えられる。（図5）。

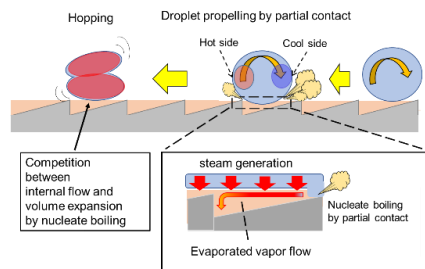


図5.核沸騰駆動域の水滴自走の模式

PIVで見られた大きな変形が起こる際には、マイクロスケールの液滴の高速射出が観察できる。このことから、液滴後端で核沸騰により内部流動と逆行する反時計回りのモーメントが生まれる場合があると考えられる。この流れと内部流動が拮抗すると、内部流動が停止若しくは遅くなる。その場合、粘性で引きずられる蒸気膜の流れも停止するため、溝の深い方向へ蒸気が逃げられなくなり、全方向へ膨張することになり、これが大きな変形の発生に繋がったと考えられる。

LinkeらやMarinらは、ラチェット表面上の液滴の自走現象が一定の定常速度に達することを考慮して、以下のような運動方程式を提示している。

$$m \left( \frac{d^2x}{dt^2} \right) = F_R - \beta \left( \frac{dx}{dt} \right) \quad (1)$$

この式からパラメータを最適化し、速度をフィッティングした例を図6に示す。フィッティング結果は液滴の運動と概ね一致していることが分かる。この手法により、各温度におけるデフォルト基板上での終端速度( $v_T$ )を求めたところ、180°Cで0.217 m s<sup>-1</sup>となった。140~200°Cの温度域では180°Cが最も高い $v_T$ を示し、200°Cでは若干低下した( $v_T=0.210$  m s<sup>-1</sup>)。200°Cでは後述する重力モードの寄与が始めていると思われる。

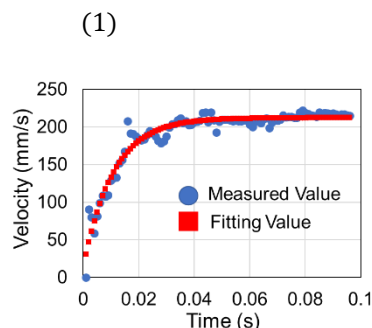


図6.180°Cにおけるデフォルト基板上での水滴の自走に対してパラメータを最適化し、フィッティングした結果

200°Cを超える温度での自走においても、着液直後の水滴内部の流動は、時計回りの回転が確認された。この温度域での水滴の自走の挙動には、蒸気膜厚の増加が関係していると考えられる。蒸気膜厚が増大するため、200°Cを超える温度では、核沸騰は起こりにくいと考えられ、その結果、水滴の推進力は低下する。この場合、水滴を自走させる駆動力として考えられる候補に重力がある。

今回の実験では、 $L=1.5$  mm、 $H=0.2$  mmのラチェットによって $\theta \sim 7.6^\circ$ の角度がつく。この傾斜での重力を駆動力( $\sim mg \sin\theta$ )として考えると、概ね $10^{-5}$  Nオーダーと計算される。蒸気流による逆向きの推進力は $10^{-7}$  Nオーダーと見積もることができることから、重力による推進力が支配的であることが示唆される。200°Cを超える温度での自走結果から、この領域での終端速度は、0.01~0.015 m s<sup>-1</sup>程度に見える（図7）。この重力由来領域の考察は後述する。デフォルト基板では180°Cで最も終端速度が高くなった。この温度は水の固体への付着の場所や頻度が適切で、核沸騰を駆動力にするにはちょうど良い条件であったためと思われる。

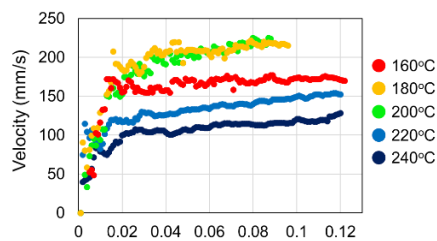


図7.各温度でデフォルト基板上を自走する水滴の時間に対する速

ZnO-NR形成後はライデンフロスト点が125.1°Cまで低下したことから、ZnO-NRが形成された領域では、測定された温度域（140~240°C）は概ね膜沸騰状態と考えることができる。default\_ZnO-NRでは、デフォルト試料よりも低温の140°Cで水滴が移動した。また、デフォルト試料の比較的低温で見られた、水滴の移動途中での変形は、default\_ZnO-NRではすべての温度域で顕著ではなく、全体的に自走速度も遅く、180°C以上では、温度依存性も少なかった（図8）。デフォルト基板と同様の時計回りの内部流動が観察された。一方、default\_ZnO-NR\_skip1は140°Cで水滴が移動するだけでなく、移動速度もdefault\_ZnO-NRに比べて全体的に増加した。default\_ZnO-NR\_skip1では主に200°C以下の温度において、速度が上がるにつれてZnO-NRがない面で、自走する水滴が弾かれるように振動、跳ねる現象も見られた。

デフォルト基板では、接触+核沸騰由来領域から重力由来領域へ遷移する過程が見られたが、default\_ZnO-NRでは、水滴の自走挙動は、デフォルト基板での200°Cを超える温度のものと酷似しており、駆動力はすべての温度領域で概ね重力由来となっていると考えられる。超撥水の場合、温度が十分に高くなく固体と液体の接触が起こったとしても、接触面積が小さいため、

液滴は壁面に付着せず、このため核沸騰が起こりにくい。今回使用している ZnO-NR 形成後の Zn 板は超撥水表面ではないが、デフォルト試料よりも低温の 140°C で水滴が移動するのは、この効果の寄与が考えられる。蒸気膜厚さ  $e$  を  $10^{-5}$  m、蒸気速度  $v_v$  を  $10^{-1}$   $\text{m s}^{-1}$  とすると、レイノルズ数は  $Re = \rho_v v_v e / \eta_v = 10^{-6}$  となり、完全な層流となること、蒸気膜厚さに対して粗さ ( $633 \pm 120$  nm) が小さいことから、形成した ZnO-NR の蒸気流の乱れへの寄与は小さいと考えられる。水滴の自走の駆動力が重力に由来する場合、ラチェットの角部で受ける抵抗のみが影響を与えると考えられ、蒸気膜の厚さの関与は小さいと考えられる。このため移動速度の温度依存性が少ないと考えられる。これらの効果から、default ZnO-NR のとりわけ高温では、完全に重力由来領域になっていると考えられる。

ラチェットの傾斜での重力を駆動力としている場合、運動方程式は、

$$m \left( \frac{d^2x}{dt^2} \right) = F_{Rg} - F_f \quad (2)$$

と書くことができる。ここで、 $F_{Rg} \sim mg \sin\theta$  は駆動力、 $F_f \sim Cv^2$  は速度の二乗に比例するラチェットの角部に起因する慣性抵抗 ( $C$  は定数) である。実際にはラチェット上の液滴は横から見た場合、ブーメラン型に変形し、その右側は駆動に寄与せず逆に抵抗となる。また液滴は隣のラチェットの角部にも乗るのでラチェットの傾斜による重力の効果をすべて活かすことはできない。このため「実効角度」として  $\theta$  を約 1/10 の  $0.6^\circ$  に設定すると、終端速度は  $v_T \sim 0.10$   $\text{m s}^{-1}$  となった。これはデフォルト基板において 200°C を超える温度での実験から実際に得られる値と概ね同程度になる。 $\theta$  が  $0.6^\circ$  の場合でも、重力は  $10^{-6}$  N オーダーとなり、蒸気流による逆向きの推進力 ( $10^{-7}$  N) を上回る。従って重力支配の状態であることには変わりはない。

一方 default ZnO-NR\_skip1 は、デフォルト基板での結果から、主に 200°C 以下の温度域では、ZnO-NR が無い面で水滴と固体とが接触し、核沸騰が起こると考えられる。液滴前端は液体温度という観点からはラチェット角部との接触は起こりにくいと考えられるが、前述のようにラプラス圧の観点からは接触する可能性はある。ZnO-NR の形成により液滴前端の固体への接触が効果的に抑制され、液滴後端の接触の効果が顕在化したことにより、速度増加が顕著になると考えられる。実際、160°C や 180°C では、水滴が ZnO-NR が無い領域をまたぐような形でアーチ状を作りながら自走する現象が観察された。

液滴の自走を実測できる長さには実験上の限界があることから、ZnO-NR 形成後の試料は、今回の測定範囲では速度の上昇が続いており、終端速度が飽和していない。しかしながら default ZnO-NR\_skip1 は、ZnO-NR が無い面での核沸騰が自走の主な推進力となっていると考えられることから、200°C 以下の温度域での結果について(1)式を用いてフィッティングを行い、終端速度の予想値を算出した。この結果、default ZnO-NR\_skip1 は 160°C において、デフォルト基板の値 ( $0.146$   $\text{m s}^{-1}$ ) を超える終端速度 ( $0.197$   $\text{m s}^{-1}$ ) が見積もられた。default ZnO-NR\_skip1 では終端速度の到達する時間はかかるが、これは核沸騰を起こすラチェットの数が半分であることや、水滴の変形挙動が異なること、ZnO-NR を形成した表面が完全に超撥水ではないことなどが影響していると思われる。これらの値はあくまで計算上の予想値であるが、default ZnO-NR\_skip1 は、160°C ではデフォルト基板の値を超える終端速度が得られる可能性があり、デフォルト基板と default ZnO-NR のそれぞれの効果の単なる足し合わせではない、シナジー効果を示す温度領域が存在するかもしれない。

## 2) ライデンフロスト現象による液滴の運動をエネルギーに変換するデバイスの試作

ラチェット構造を表面に有するライデンフロストリングに対し、予め水滴を 30-60s 程度回してから、ここに磁性流体を滴下し合体させることで自走させた。その液滴の周回位置にコイルを設置し、誘導起電力の測定を試みた。滴下開始後すぐに磁性流体はもともと持っていた速度からコイルの直下を通過することで急激に減速し、図 9 のように、誘導起電力が確認された。(横軸

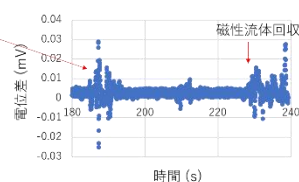


図 9. ライデンフロストリングを用いたエネルギー回収デバイスの試作

は実験時に記録を開始してからの総時間であり、188s 付近に見られる正負への大きな電位の変化が誘導起電力。230s 付近の電位変化は、実験系から磁性流体の回収する作業に伴うノイズ。) この結果、このシステムでエネルギー回収が可能であることが示された。

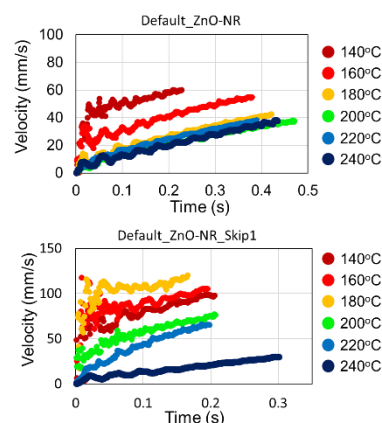


図 8. ZnO-NR を形成した試料の各温度での水滴の時間に対する速度

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 T. Hirose, T. Isobe, S. Matsushita, A. Nakajima	4. 巻 128
2. 論文標題 Processing of transparent superhydrophobic films using cerium oxide particles with different aspect ratios	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of the Ceramic Society of Japan	6. 最初と最後の頁 210-216
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2109/jcersj2.19203	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 T. Kano, T. Isobe, S. Matsushita, A. Nakajima	4. 巻 217
2. 論文標題 Hydrophobicity and Leidenfrost point of ZnO nanorod array combined with nanoscale roughness on the topmost surface	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Materials Chemistry and Physics	6. 最初と最後の頁 192-198
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.matchemphys.2018.06.075	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 酒井宗寿, 中島 章	4. 巻 93
2. 論文標題 撥水性固体表面における水滴の静的動的濡れ性に関する研究の最近のトピックス	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 色材協会誌	6. 最初と最後の頁 252-260
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4011/shikizai.93.252	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 3件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 中島章
2. 発表標題 固体表面の動的撥水性に関する最近のトピックス
3. 学会等名 6th I2plus Workshop, -Wetting and Related Phenomena- (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中島章
2. 発表標題 撥水性固体表面における水滴の動的挙動
3. 学会等名 2019年度日本セラミックス協会基礎科学部会セミナー（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 叶野貴大、磯部敏宏、松下祥子、中島章、酒井宗寿
2. 発表標題 ZnOナノロッドアレイを用いた撥水表面の水滴捕集効果とライデンフロスト現象
3. 学会等名 日本セラミックス協会2019年年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中島章
2. 発表標題 固体表面の動的撥水性
3. 学会等名 日本学術振興会「水の先進理工学」第183委員会公開シンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T. Kano, T. Isobe, S. Matsushita, A. Nakajima
2. 発表標題 The wettability and Leidenfrost effect of hydrophobic ZnO nanorod arrays
3. 学会等名 Water on Materials Surface 2018（国際学会）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 廣澤拓哉、磯部敏宏、松下祥子、中島章
2. 発表標題 液滴の内部流動に基づく動的ライデンフロスト現象の解析と制御
3. 学会等名 日本セラミックス協会2021年年会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	酒井 宗寿  (SAKAI Munetoshi)  (00392928)	茨城大学・研究・産学官連携機構・准教授    (12101)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------