

令和 5 年 6 月 12 日現在

機関番号：52601
研究種目：基盤研究(C)（一般）
研究期間：2020～2022
課題番号：20K12275
研究課題名（和文）地熱発電具現化のためのアンチスケール法開発を目的としたロータス効果の応用展開

研究課題名（英文）Application of Lotus Effect to Develop Anti-scaling Method for Geothermal Power Plant

研究代表者
小山 幸平（Koyama, Kohei）

東京工業高等専門学校・機械工学科・准教授

研究者番号：40597845
交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,400,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、SUS430製の円錐型試験片に液滴を滴下し、接触角を測定することで、ピン止め力を求めた。実験では、半径が 0.25～1.15 mm、屈曲角が45～105°となる円錐台試験片を用いて実験を行った。試験片に液滴を滴下したのち、接触角計で液滴の接触角を測定し、その値に基づきピン止め力の算出を行った。その結果、円錐半径とピン止め力の関係を明らかにした。また、ピン止め力を円錐半径で表す関係式を得た。SUS430と蒸留水では最大ピン止め力を示し、液滴が円錐表面に留まらず落下する理由も明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の成果は、材料表面で液体が撥水性を示す性質であるロータス効果を効率的に発生させる材料の開発に寄与することができる。接触角と材料表面の微細形状との関係を解明したことで、撥水性を考慮した材料設計をすることができる。撥水性は、地熱発電のような温泉利用設備におけるスケール付着を防止する効果が期待されている。本研究成果は、地熱発電普及を阻害する要因となっている温泉スケールの対策に応用することができる。

研究成果の概要（英文）：In this study, the pinning force was determined by dropping a water droplet onto a conical specimen made of SUS430. The contact angle of the droplet was measured. Experiments were conducted using conical specimens with radii ranging from 0.25 to 1.15 mm and bending angles from 45 to 105 degrees. After a drop of liquid was dropped onto the specimen, the contact angle of the droplet was measured with a contact angle meter. The pinning force was obtained based on the experimental results.

The relationship between the conical radius and the pinning force was discussed. The maximum pinning force was obtained for SUS430 and distilled water. The mechanism that the droplet fell down without staying on the conical surface was also clarified.

研究分野：流体工学

キーワード：撥水性 ロータス効果 ピン止め力 接触角

1. 研究開始当初の背景

エネルギー・地球環境問題は世界的な懸案事項であり、将来にわたって持続可能な社会を構築するため、その解決が求められている。また、日本においては、東日本大震災以降、従来の発電方法に代わる自然エネルギーに注目が集まっている。

本研究では、日本が有する地熱資源に着目する。日本は化石燃料など従来の資源に乏しい一方、地熱資源量は世界第 3 位である。地熱資源は、地球活動に伴い発生している再生可能エネルギーであり、特に温泉水の利用は、多数の温泉を有する日本において有望である。

しかし、温泉水はカルシウムや硫黄等の多成分を含有するため、配管などの設備へのスケール（汚れ）付着の問題を避けることは困難である。そのため、地熱発電普及の障壁となっている。これまで、付着したスケールを物理的に除去する浚渫法や、化学的に除去する薬注法などで対処されてきたが、配管設備の定期的な交換が依然として必要なため、問題解決には至っておらず、スケールを未然に防止する方法の開発はまったく新しい視点での解決手法であり、その研究成果が期待される。

2. 研究の目的

金属表面に微細な機械加工を行い、水滴を滴下させた際の特性を研究した先行研究で、微細加工面において、水滴に対してピン止め効果による撥水性を示すことを明らかにした。特にこの撥水性挙動は、ロータス効果と呼ばれる現象と同様であることを明らかにした。

ロータス効果は、ハスの葉に水滴が付着した際に見られる現象であり、一般的には、物体表面の微細構造と化学的特性により、液体に対して物体表面が濡れない撥水性を示すことである。ロータス効果を示す物体の表面は、水滴が表面張力により球状となり、汚れが堆積することなく、清浄な状態が保たれることが知られている。したがって、ロータス効果を有する材料の地下熱水利用設備への応用可能性を強く示唆するものである。

本研究の目的は、ピン止め効果性質を明らかにし、高精度の濡れ性制御手法を確立することである。従来、微細加工面での濡れ性の予測は Young の式が用いられてきたが、これでは説明できないピン止め力が働いていることがわかっている。このピン止め力を求めるために、液滴滴下面の半径および屈曲角が異なる正/逆円錐台型試験片を製作し、試験片上面に滴下した液滴の接触角を測定することでピン止め力の算出を行う。

3. 研究の方法

ピン止め力を算出するため、円柱側面に $45 \sim 105^\circ$ の角度を有し、円錐台上面の半径を $0.25 \sim 1.15 \text{ mm}$ とする正/逆円錐台形試験片を製作した。実験では、この円錐台試験片頂部に純水液滴を滴下し、接触角を測定した。液滴量は重力の影響をできるだけ小さくするため $3 \mu\text{L}$ とした。接触角の測定には $\frac{1}{2}$ 法を用いたが、この方法は、液滴を球体と仮定するため、その妥当性の検証が必要である。そのため、まずピン止め力の生まれる円錐台の上面の半径と接触角の関係から試験片ごとの液滴の接触角の理論値を導き、その値と実験値を比較することで、液滴が球状であるとみなせるかの判別を行った。

液滴形状の検証ができた後、ピン止め力を算出するために、屈曲角ごとに円錐台上面の半径を変化させて接触角を測定した。また、平滑な SUS430 面においても同様の方法で接触角を測定し、その結果から個/液界面の界面自由エネルギーを算出することとした。これらの界面自由エネルギー、液滴の接触角、ピン止め力の関係式からピン止め力を導いた。

4. 研究成果

液滴形状確認実験について、図 1 に、円柱の半径に対する測定された接触角と理論値との比較を示す。また、図 1 の中に、円柱半径 $r = 0.95 \text{ mm}$ 、接触角 $= 104^\circ$ の液滴の様子も併せて示す。実験値と理論値はよく一致しており、 $\frac{1}{2}$ 法による接触角測定法は妥当であるといえる。

ピン止め力測定実験について、正/逆円錐台に液滴を滴下したときの円錐台半径 r と接触角の関係を図 2 に示す。図 2 の中に、円錐台半径 $r = 0.7 \text{ mm}$ 、接触角 $= 110.3^\circ$ 、屈曲角 $= 75^\circ$ の液滴の様子も併せて示す。なお、屈曲角が 90° および 105° では $r = 0.3 \text{ mm}$ 、 75° では $r = 0.55 \text{ mm}$ 、 60° では $r = 0.7 \text{ mm}$ 、 45° では $r = 0.75 \text{ mm}$ の際に滴下した液滴は円錐台に留まらず落下した。円錐半径と接触角の関係は、すべての屈曲角において直線的な変化となった。それに対して、屈曲角 90° の時、ピン止め力は円錐半径の縮小に対して緩やかに上昇した。ただ、屈曲角が 75° 、 60° 、 45° のときは 90° と同様な変化は得られなかった。

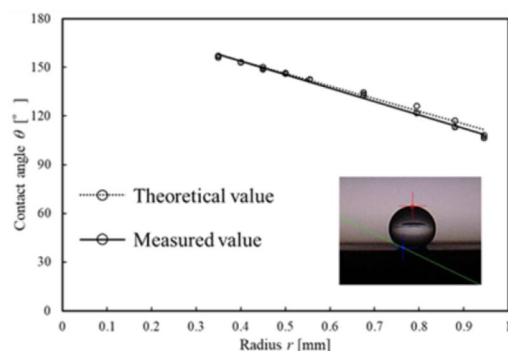


図 1 ピン止め力の働く円柱半径と接触角の関係

が、実験で計測できた最大のピン止め力はすべての屈曲角で近い値を示している。また、円錐台の屈曲角が 90° および 105° のとき、接触角やピン止め力に大きな差は出なかった。得られた結果を整理し、ピン止め力 F_p を円錐台半径 r の関数として下記の実験式を構築した。

$$F_p = 36\cos(120r^{1.7})$$

測定結果と実験式との比較を図 3 に示す。また、上式より、 r が限りなく小さくなった時のピン止め力の最大値は 36.0 mJ/m^2 であり、SUS430 と純水の間には、これ以上のピン止め力は生じないことを示している。また図 3 より、屈曲角が変化しても最大ピン止め力は変わらないことが分かる。

本研究では試験片として SUS430 を、液滴は純水を用いたが、材質や液体の種類が異なるとピン止め力の変化の傾向も異なっていくことが考えられるため、追加で検証していくことが必要である。ピン止め力の働く表面での接触角の予測は、従来の Young の式で用いられる個体、液体、気体間の表面、界面張力だけでなく、上式のような材質ごとのピン止め力の値も考慮した接触角の予測式を構築することで、高撥水性を持つ表面の製作が可能になると考える。

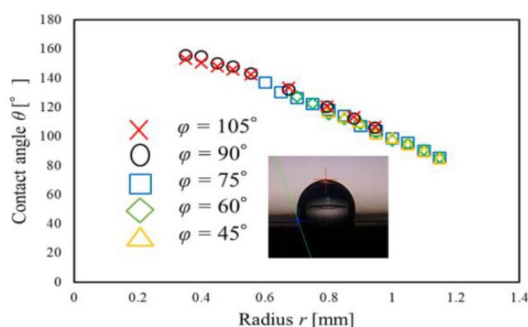


図 2 屈曲角ごとの円錐台半径と接触角の関係

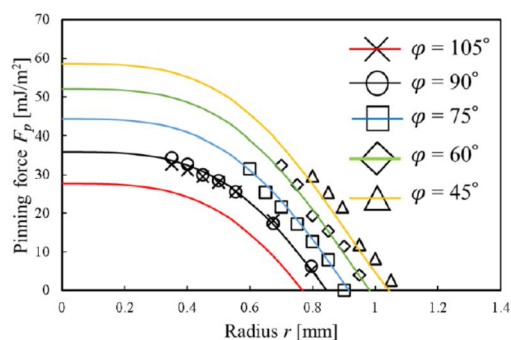


図 3 屈曲角ごとの円錐台半径とピン止め力の関係

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計3件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 大堀潤也、小山幸平
2. 発表標題 固体表面上の液滴におけるピン止め効果と静的挙動解析
3. 学会等名 日本機械学会山梨講演会2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 大堀潤也、小山幸平
2. 発表標題 固体表面上の水滴に対するピン止め力の評価
3. 学会等名 日本機械学会関東学生会第61回学生員卒業研究発表講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小山幸平、眞嶋希
2. 発表標題 微細溝加工面における懸濁液のスケール付着防止に関する研究
3. 学会等名 日本機械学会山梨講演会2020
4. 発表年 2020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
---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------