

令和 6 年 5 月 17 日現在

機関番号：10101

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2022～2023

課題番号：22K18876

研究課題名（和文）アルミニウム製水滴発電機の創製

研究課題名（英文）Fabrication of water droplet-based electricity generators consisting of aluminum

研究代表者

菊地 竜也（Kikuchi, Tatsuya）

北海道大学・工学研究院・教授

研究者番号：60374584

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）：本研究においては、アノード酸化やマグネトロンスパッタリングなどのさまざまな表面処理技術を用い、アルミニウム製の水滴発電機の作製を試みた。アルミニウム表面に種々の帯電層を形成し、水滴発電機を試作した。水滴発電機に超純水を滴下すると、水は表面をすばやく濡れ広がり、凝集したのち、滑落した。この際、接触帯電による電気エネルギーが生じた。水滴発電機に水を連続的に滴下することによって連続的な発電が生じ、市販の発光ダイオードを点灯できることを明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の遂行によって、社会に普遍的に存在するアルミニウム材料表面に帯電層を形成した極めて簡単な構造が、雨水を利用した水滴発電機として利用できることを実証した。従来より広く用いられるアルミニウム材料表面に一工夫を与え、これを屋外、例えば屋根や外壁に設置することにより、雨天時に電気エネルギーを回収する発電機として利用できる。このような水滴発電機を社会に広く張り巡らせば、社会に小さな発電所を張り巡らせることが可能になる。

研究成果の概要（英文）：In the present investigation, water droplet-based electricity generators consisting of aluminum were fabricated by various surface finishing such as anodizing and magnetron sputtering. Several charged layers were formed on the aluminum surface. As ultrapure water was dropped onto the generators, the water droplet rapidly spread, reassembled, and slipped down, and instantaneous contact electrification and subsequent electricity generation occur by continuous water dropping. Commercially available LEDs connected in series can be instantaneously lighted during continuous water dropping onto the generators.

研究分野：表面処理

キーワード：水滴発電機 アノード酸化 接触帯電 水滴発電機 アルミニウム

1. 研究開始当初の背景

近年、持続可能な社会の構築に向けて、水力・火力・原子力発電といった重厚長大な発電手法に頼らない、新しい発電システムの作製に関する研究開発が活発に行われている。その中でも、異なる物質が接触した際に電荷の偏りが生じる「接触帯電」を発電システムに応用する技術が注目を集めている。例えば、雨天時、雨水が材料に衝突すると、雨水と材料との間の接触帯電によって電荷の偏りが生じる。この電荷の偏りが解放される際に電気エネルギーとして取り出す回路を材料上に構築すれば、新しい発電システムとしての応用が期待できる。

鉄やアルミニウムなどの金属は、我々の社会で幅広く利用されている普遍的な金属材料である。報告者はこれまでの研究において、アルミニウムの表面処理に基づく新規な微細構造の構築や、その構造により発現する機能性に関する研究を行ってきた。この研究過程において、アルミニウム表面に接触帯電層を構築して水を滴下すると接触帯電が生じ、発電システムとして応用できると予想される研究成果を得た。

2. 研究の目的

本研究においては、アルミニウムの表面処理によってアルミニウム上に接触帯電層を形成したのち、この表面に水滴を滴下した際の電圧、電流および電荷量を測定し、「水滴発電機」として応用するための可能性を検討した。また、試作した水滴発電機を雨天時の屋外に設置し、雨水を用いた水滴発電機として利用できるか、実証した。

3. 研究の方法

以下の方法を用いてアルミニウム製の水滴発電機を試作した。

(1) アノード酸化法

高純度アルミニウム試料を超音波洗浄および電解研磨したのち、シュウ酸水溶液中に浸漬してアノード酸化を行い、アルミニウム上にアノード酸化皮膜を形成した。一部の試料表面に撥水性の自己組織化単分子膜 (SAM) を修飾し、撥水性とした。試料表面にアルミニウムテープを貼り付けたのち、アルミニウムテープと素地のアルミニウムとを接続することにより回路を形成し、水滴発電機とした。

(2) ポリテトラフルオロエチレン (PTFE) 法

PTFE 板表面にマグネトロンスパッタリングを用いてアルミニウム層を形成した。PTFE 表面にアルミニウムテープを貼り付けたのち、アルミニウムテープとアルミニウムスパッタ層とを接続することにより回路を形成し、水滴発電機とした。

(3) ポリジメチルシロキサン (PDMS) 法

電解研磨したアルミニウム板に PDMS 層を形成したのち、PDMS 表面にアルミニウムテープを貼り付けた。アルミニウムテープと素地のアルミニウムとを接続することにより回路を形成し、水滴発電機とした。

図 1 は、アノード酸化法により試作した水滴発電機の外観を示している。図中、上部がアルミニウム板の素地であり、その下にアノード酸化皮膜形成部とアルミニウムテープを用いた電極が形成されている。

作製した水滴発電機を傾斜台に設置したのち、上部から水滴を滴下した。傾斜台の角度、滴下頻度、滴下高さなど水滴滴下条件を変化させた際、接触帯電により生じた電圧、電流および電荷量をオシロスコープにより測定した。また、試作した水滴発電機を屋外に設置し、雨天時の雨水を用いて発電をデモンストレーションした。

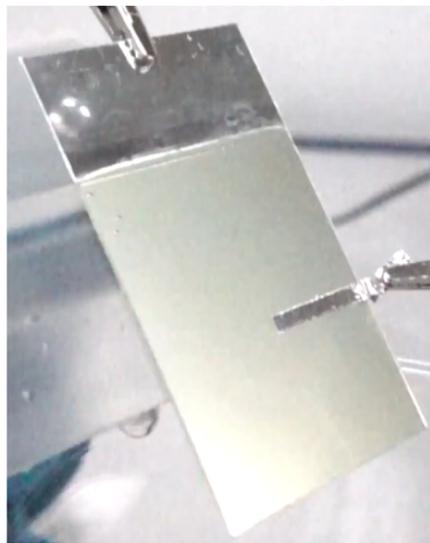


図 1 試作した水滴発電機の外観

4. 研究成果

PTFE 利用法により作製した水滴発電機に水滴を滴下すると、水が PTFE 表面を濡れ広がったのち、ただちに凝集して滑落した。これは、PTFE が高い撥水性および滑落性をもつためである。この際、水と PTFE との接触帯電によって電荷の偏りが生じ、この電荷の偏りを 2 つのアルミニウム電極間で捕捉することにより、瞬間的な電圧および電流を得ることができた。発電機の設置角度を種々変更して同様の実験を行うと、設置角 45 度の条件において電圧が最も高いことがわかった。また、水滴滴下速度が速く連続的な水の流れとなる状況では発電はほとんど生じなかった。さらに、滴下高さが低い場合には、水滴が PTFE 表面を濡れ広がらないため、電圧が低いことがわかった。すなわち、水滴発電においては、設置角度や滴下頻度、滴下高さなどの水滴滴下条件を精緻に制御する必要があることがわかった。

アノード酸化法によって水滴発電機の作製を検討したところ、アノード酸化皮膜を形成したアルミニウムを用いた場合には、ほとんど発電は生じなかった。これは、親水性のアノード酸化皮膜表面が水が濡れ広がったのち、水膜が滑落せずそのまま残存するため、接触帯電が生じないものと考えられた。SAM を用いて撥水処理を行ったアノード酸化試料に水滴を滴下すると、滴下した水は表面を濡れ広がったのちに滑落し、電荷の移動による電圧および電流が生じた。水滴発電に及ぼす水滴滴下条件の影響は、PTFE 利用法を用いて作製した水滴発電機とほぼ同様であった。図 2 は、試作した水滴発電機を傾斜角 45 度の台に設置したのち、15 cm の高さから水滴を滴下した際に生じた電圧を示しており、a) は水滴の滴下頻度が 8 Hz (1 秒間に 8 回)、b) は 33 Hz のものである。8 Hz の条件においては、水滴の滴下によって最大 8 V 程度の瞬間電圧が生じ、これが 1 秒間に 8 回連続的に生じていることがわかる。一方、頻度を 33 Hz にすると、瞬間電圧が生じる感覚は短くなるとともに、電圧は大きく低下する。これは、水滴発電機に衝突した水が滑落する前に次の水滴が衝突するため、水とアノード酸化皮膜との接触帯電がほとんど生じなくなったためと考えられる。PDMS 形成法を用いて試作した水滴発電機の場合にも、同様の発電挙動が得られた。

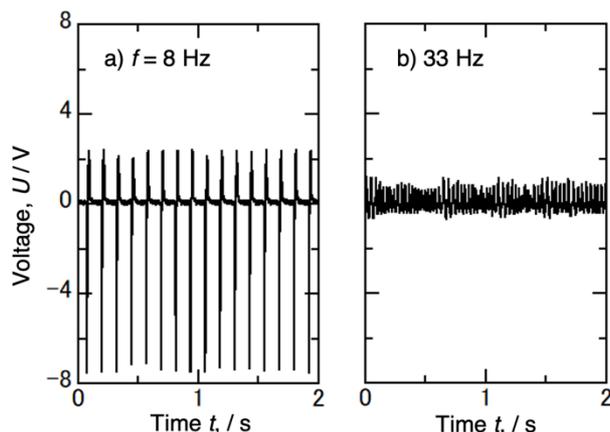


図 2 試作した水滴発電機に水滴を滴下した際に生じた電圧の時間変化

試作した水滴発電機を、発光ダイオード (LED) に接続して水滴を連続的に滴下すると、LED を連続発光できることを見出した。水滴発電機を上下に複数設置した「多段型水滴発電機」を用いることにより、それぞれの LED が連続発光できることも明らかにした。すなわち、多数の水滴発電システムを設置することにより、より多くの電気エネルギーを生み出せることを明らかにした。

水滴発電機を雨天の屋外に設置し、雨水によって発電できるか検討したところ、降水量が少ない条件では発電はほとんど生じなかった。一方、水滴発電機を屋根直下に設置したところ、屋根から落下する比較的大きな水滴が水滴発電機に衝突した際に最大 5 V 程度の発電が生じることを確認した。この試験後、札幌市は降雪の時期に入ったため、これ以上の発電試験を行うことは困難であったが、本研究により作製した水滴発電機を用いて降雨による発電が可能であることを実証した。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計9件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 葛貫桃子、菊地竜也
2. 発表標題 接触帯電を利用した水滴発電機の作製
3. 学会等名 電気化学会北海道支部50周年記念若手研究者発表会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 葛貫桃子、菊地竜也
2. 発表標題 ポリテトラフルオロエチレンと金属電極からなる水滴発電機の作製と高出力化
3. 学会等名 表面技術協会第146回講演大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 葛貫桃子、寺島彩紗、安田純之介、岩井愛、菊地竜也
2. 発表標題 アノード酸化皮膜形成アルミニウムを利用した水滴発電機の作製と高出力化
3. 学会等名 表面技術協会第147回講演大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 菊地竜也
2. 発表標題 新規な電解質を用いたアルミニウムのアノード酸化によるナノテクノロジー
3. 学会等名 電気化学会第90回大会（招待講演）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 葛貫桃子、寺島彩紗、安田純之介、岩井愛、菊地竜也
2. 発表標題 アルミニウムおよびアルミナからなる水滴発電機の作製と最適発電条件の探索
3. 学会等名 電気化学会北海道支部第37回ライラックセミナー・第27回若手研究者交流会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 葛貫桃子、寺島彩紗、安田純之介、岩井愛、菊地竜也
2. 発表標題 アノード酸化したアルミニウムを用いた水滴発電機の作製
3. 学会等名 2023年電気化学秋季大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 長谷川哲也、葛貫桃子、菊地竜也
2. 発表標題 アルミニウムとPDMSを用いた水滴発電機の作製
3. 学会等名 日本金属学会2023年(第173回)秋期講演大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 葛貫桃子、寺島彩紗、岩井愛、菊地竜也
2. 発表標題 水滴発電機の発電挙動におよぼす帯電材料および濡れ性の影響
3. 学会等名 2023年度日本金属学会・日本鉄鋼協会両北海道支部合同冬季講演大会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 長谷川哲也、葛貫桃子、菊地竜也
2. 発表標題 降雨による接触帯電を利用したアルミニウム製水滴発電機の作製
3. 学会等名 日本金属学会2024年春季(第174回)講演大会
4. 発表年 2024年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

北海道大学が主催する「国民との科学・技術対話 Academic Fantasista 2023」事業に参画し、本研究成果の一部を発表した。

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