

研究成果報告書

所属機関	職名	氏名
北海道大学 大学院工学研究院	准教授	菊地 竜也

研究テーマ

降雨から電気エネルギーを得るアルミニウム製水滴発電機の開発

研究報告

1. 研究の背景と目的

近年、世界人口の増加に伴う電力需要の増大により、「電気をさらに生み出すための」研究開発が進められている。従来の重厚長大な電力生産方法においては、水力発電や火力発電は環境破壊の観点から限界があり、新規原子力発電、例えば核融合炉の開発などが検討されている。一方、核融合発電の実用化は全くめどが立っていない。そのような観点から、従来の発電方法にとらわれない再生可能エネルギーを用いた発電方式、具体的には風力、地熱、太陽光、波、海水などを用いた発電方式が実用化されつつある。また、近年、ナノテクノロジーとマテリアル開発を融合した新しいコンセプトに基づく発電方式も盛んに研究されており、(1)従来の発電、(2)再生可能エネルギーを用いた発電、および(3)新しいコンセプトに基づく発電を融合して社会に張り巡らすことにより、電力の安定供給をはかる必要がある。

報告者らはこれまでの研究において、「接触帯電」に基づく新しい発電デバイスの開発に取り組んできた。接触帯電は、異なる物質が接触した際に電荷の偏りが生じる現象であり、一方を帯電しやすい基板、もう一方を水とすると、雨水から電気エネルギーを取り出す発電機に応用できる。本研究においては、アルミニウム電極と帯電物質のみの単純な構造からなる「水滴発電機」を試作するとともに、作製した水滴発電機上にさまざまな条件で水を滴下することにより、高出力発電する水滴発電機の開発を試みた。

2. 研究成果および考察

【実験方法】

出発試料としてポリテトラフルオロエチレン (PTFE) フィルムを用いた。PTFEフィルムを35 mm×25 mmの大きさに切り出したのち、DCマグネトロンスパッタリングを用いてPTFEフィルム上に厚さ100 nmのアルミニウム層を形成した。アルミニウム層とガラス基板とを両面テープにより貼り付けて固定した。また、PTFE層表面に短冊状の導電性アルミニウムテープを貼り付けた。以上のように作製した水滴発電機は、(1)短冊状の導電性アルミニウム、(2)PTFEフィルム、(3)アルミニウムスパッタリング層、および(4)ガラスの4層構造からなり、2つのアルミニウムは電極として、PTFE層は接触帯電のための電荷分離層として用いた。

水滴発電機を角度の異なる傾斜台に設置したのち、上から水滴を滴下した。水滴の滴下においては、市販の輸液セットおよびシリンジポンプを用いた。水滴発電機に水滴が接触した際に生じた電圧、電流および電荷をオシロスコープにより測定するとともに、直列に接続したLED基板を用いてLEDの点灯デモンストレーションを行った。

【実験結果】

図1は、厚さ400 μmのPTFEを用いて試作した水滴発電機を45度の傾斜台に設置したのち、15 cmの高さから水滴を滴下した際に生じた電圧の時間変化および水滴の滴下の様子を示している。水滴発電機に水滴を滴下すると、水滴は衝撃によって速やかに濡れ広がったのち、PTFE表面に貼り付けたアルミニウム電極に接触する。この際、接触帯電によって電荷の偏りが生じ、100 Vを超える電圧が生じていることがわかる。その後、電圧は急激に低下して過渡期を経たのち、0となる。PTFE表面は撥水性であるため、濡れ広がった水はすぐに凝集して下方向に滑落した。水滴を連続的に滴下すると、同様の接触帯電による発電と水の滑落もまた連続的に生じた。すなわち、雨水を用いた発電機として応用できる可能性が示唆された。

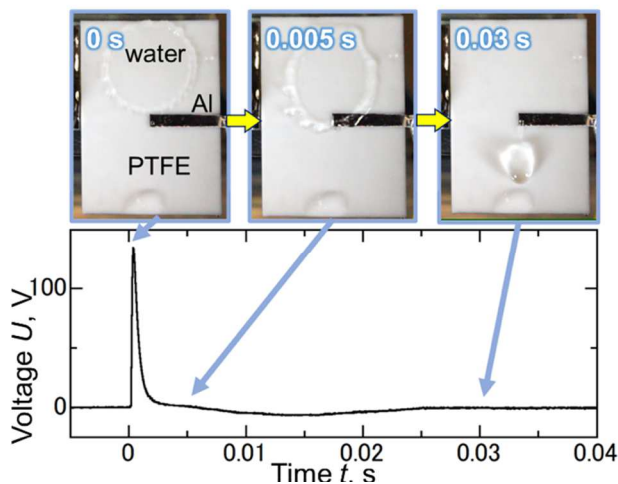


図 1 水滴発電機に水を滴下した際の外観写真と生じた電圧の時間曲線

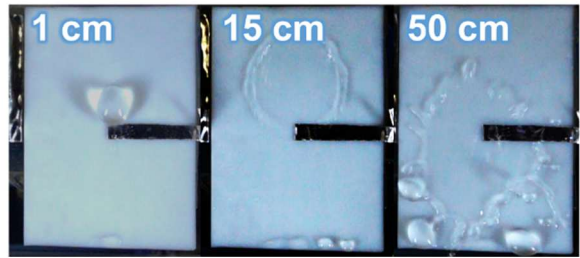


図 2 異なる高さから水滴を滴下した際の外観写真

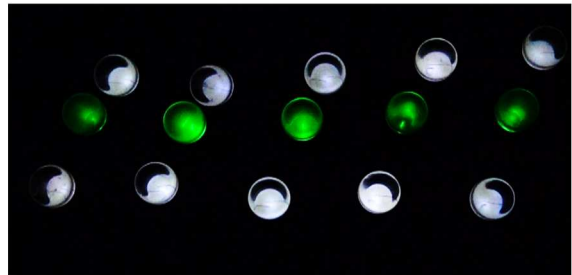


図 3 水滴発電機による 15 個の LED の点灯デモンストレーション

水滴発電における水滴滴下高さや発電機の設置角度、滴下速度は、出力電圧や出力電流に大きな影響を与えることがわかった。例えば、図 2 は異なる高さから水滴を滴下した際の水滴の衝突と滑落の様子を示したものである。高さが 1 cm の場合、水滴はあまり PTFE 表面を濡れ広がらず、球状を保ちながら下に向かって滑落していく様子が観察される。このため、接触帯電量が小さく、出力電圧は数 V とかなり低い。一方、高さを 50 cm にすると、水滴が衝撃によって大きく砕けちる様子が観察された。この場合は、接触帯電量はある程度大きい、出力電圧は 40 V 程度であった。高さ 15 cm の条件では、水滴が適度に濡れ広がり、その後凝集して滑落し、出力電圧が 100 V を超えることがわかった。設置角度を変化させて同様の実験を行うと、角度が 15 度と低い場合や 75 度と高い場合には出力電圧が低いのに、45 度とすることによって最高電圧が生じた。また、水滴の滴下速度を増大すると、ピーク電圧を保ったまま最大出力電圧の発生回数も増大したが、あまり滴下速度を速くすると、水滴の濡れ広がりや凝集にかかる一連のプロセスが終了する前に次の水滴が接触するため、電圧および電流は大きく低下した。すなわち、水滴の濡れ広がりや凝集が終了したのちに次の水滴が接する条件とすることにより、最大出力電圧の発生回数を増大できることがわかった。また、PTFE 層の厚さを増大すると、出力電圧が増大する傾向が見られた。

図 3 は、白色および緑色の 15 個の LED を直列に接続した回路基板を用いて、水滴発電機による発電デモンストレーションを行なった際の様子を示している。水滴発電機においては、設置角度 45 度、水滴滴下高さ 15 cm の最適条件を用いた。水滴を滴下することによって 15 個の LED が点灯していることが明らかである。水滴を連続的に滴下すると、LED の発光もまた連続的に生じた。このような水滴発電機は、雨水から電気エネルギーを得るための「降雨発電機」として応用できると予想される。

3. 将来展望

本研究においては、アルミニウム電極と PTFE 帯電層を用いた三層構造によって水滴発電機を試作し、このデバイスが水滴の滴下によって 100 V の電圧を連続的に発生できることを見出した。このような水滴発電機を社会に実装することにより、電力を取り出す新しい発電システムとして応用することが期待できる。一方、社会への応用にあたっては、より普遍的な材料、例えば現在も構造体などとして用いられている材料を用いて水滴発電機を作ることが重要になるとと思われる。その観点から、今後は PTFE を用いない、広く一般的に用いられている材料から構成される水滴発電機の作製を目指して研究を進めていく予定である。

4. 研究発表

【学会発表】

- (1) 接触帯電を利用した水滴発電機の作製、葛貫桃子、菊地竜也、電気化学会北海道支部50周年記念若手研究者発表会（2022年6月11日、北海道大学）
- (2) 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、葛貫桃子、菊地竜也、表面技術協会第146回講演大会（2022年9月6日、埼玉工業大学）
- (3) ポーラス皮膜形成アルミニウム表面の濡れ性に及ぼすポアワイドニングおよび水和処理の影響、安田純之介、菊地竜也、2022年度日本鉄鋼協会・日本金属学会両北海道支部合同冬季講演大会（2023年1月20日、室蘭工業大学）
- (4) 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、葛貫桃子、寺島彩紗、安田純之介、岩井愛、菊地竜也、表面技術協会第147回講演大会（2023年3月7日、千葉工業大学津田沼キャンパス）
- (5) 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、菊地竜也、電気化学会第90回大会（2023年3月27日、東北工業大学八木山キャンパス）