

修士学位論文要約（令和3年3月）

グラフェン-水界面における
流動誘起発電の出力評価とメカニズム検討

栗谷 京生

指導教員：鷲尾 勝由， 研究指導教員：岡田 健

Evaluation of Power Output and Investigation of the Mechanism of
Flow-Induced Power Generation at the Graphene-Water Interface

Kei KURIYA

Supervisor: Katsuyoshi WASHIO, Research Advisor: Takeru OKADA

A power conversion system with graphene and water flow, a candidate of the next generation energy harvesting technology, needs to quantify the output performance and understand the conversion mechanism. For this purpose, we fabricated a micro-flow channel with graphene as part of an inner wall. The electromotive force is proportional to the length of contact between water and graphene and the flow speed, and was measured to be 0.01 ($\mu\text{V}/\text{mm}$)/(mm/s). Further, As the water flow condition approaches turbulence, the generated voltage waveform becomes disturbed, suggesting that the generated voltage is dependent on the water flow condition.

1. はじめに

あらゆる環境に大量のセンサーを設置、ビッグデータの適用範囲を拡大し、豊かな社会を実現するトリリオンセンサーユニバース構想においては、電力網から独立したセンサー用電源としてエネルギーハーベスティングの重要性が認識されている。水流とグラフェンの界面における発電¹⁻³⁾は、地球上に水が豊富に存在することから次世代のエネルギー変換システムとして大きな可能性を持つ。しかし、発電現象を説明するメカニズムは議論が続いており、発電デバイスとしての評価も行われていない。そこで本研究では制御された流れを作ることができるマイクロ流路を用い、グラフェン上を流れる水によって電力を得る発電システムの出力定量と発電メカニズムの検討を行った。

2. 実験方法

化学気相成長法で合成したグラフェンをガラス基板上に転写し、グラフェンとガラスプレートとの間にシリコンスペーサーを挟むことでマイクロ流路を作製した。金電極を距離 d の間隔でマイクロ流路外のグラフェン上に作成し、シリンジポンプによる吸引で水流を発生させた。電極に外部可変抵抗を接続し、その両端に計測器を接続し電圧を測定した。

3. 発電デバイスとしての出力評価

グラフェン-水流発電デバイスの電源としての評価を行った。図 1 に示すように水流を印加することで電圧が発生し、水流を印加中は一定の値を示した。ま

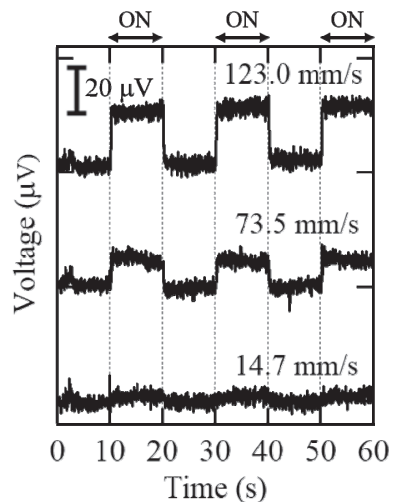


図 1 周期的なポンプ駆動で発生した電圧信号。ポンプ駆動時間は各 10 秒。

た、また発生電圧は流速に依存することがわかった。

次に等価回路を規定するため図 2(a)に示す回路を想定し、外部可変抵抗を変化させた際の電力の応答を求めた。このときの出力は等価回路における計算値と一致(図 2(b))したことから内部抵抗を持つ定電圧源である化学電池と同様であることがわかった⁴⁾。このことからグラフェンの内部抵抗値を測定し外部抵抗値を一致させることで発生する電力が最大となることが分かる。

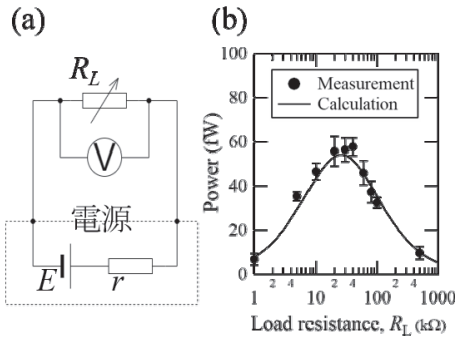


図2 (a)内部抵抗を持つ電圧源の等価回路。
(b)測定した出力電力と計算値の曲線。

電力が最大となる外部可変抵抗の条件においてチャンネル長さの異なるデバイスを複数作製し、それぞれの流速を変化させた際の起電力を測定した結果、流速に対し直線的に増加することが分かった。また複数のデバイスからの起電力をチャンネル長さで規格化すると流速に対して線形近似が可能であることが分かり(図3)、チャンネル長1mm・流速1mm/s当たりの起電力を0.01 μV と定量できることが明らかになった。

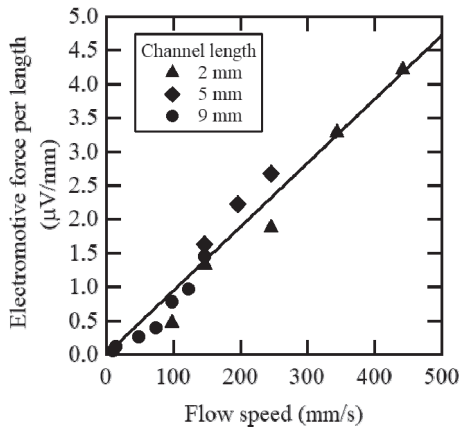


図3 チャンネル長規格化起電力。実線は原点を通る線形フィッティング。勾配は0.01 ($\mu\text{V}/\text{mm}$)/(mm/s)となった。

4. 流動状態の発生電圧への影響

起電力がチャンネル長に依存することから、流れ方向に直線的に増加する電位勾配が存在すると考えられる。この電位勾配は電気二重層の形成によって生じると考えられ、流れによる攪拌が電気二重層の構造形成に影響を与えると考えた。そこ

で流入口からの距離を変えたデバイスを作製し検討を行った。本研究で用いたフローチップ内部では流路サイズが変化する流入出口から3mm付近で流れは乱流となり下流側では層流となる。得られた発生電圧波形は乱流域で一定とならなかった。そこで波形のゆらぎから標準偏差を求め、流入口からの距離に対してプロットした。図4に示す用に流入口、流出口付近で標準偏差が大きくなり、乱流の影響が反映され、流れの状態に依存して電圧が発生していると考えられる。

5. まとめ

本研究では、エネルギーハーベスティングの新たな形である水流とグラフェンを用いた発電デバイスについて研究を行った。また電圧発生には電気二重層形成と流れの状態が影響を与えると考えられる。

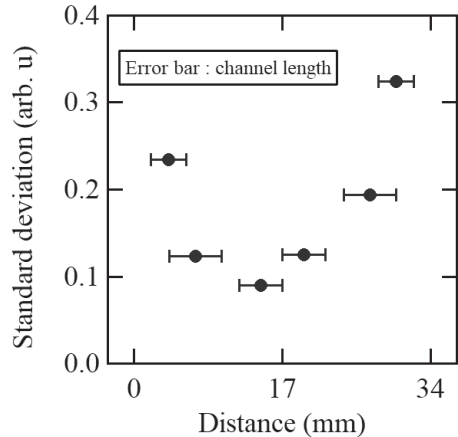


図4 フローチップ内でチャンネル位置を変えたそれぞれのデバイスの発生電圧で規格化した電圧波形の標準偏差。0 mm 以前、34 mm以降で流路断面サイズが変化。

文献

- 1) T. Okada, G. Kalita, M. Tanemura, I. Yamashita, M. Meyyappan, and S. Samukawa, *Appl. Phys. Lett.* 112, 023902 (2018).
- 2) S. Ho Lee, Y. Jung, S. Kim, and C. S. Han, *Appl. Phys. Lett.* 102, (2013).
- 3) S. S. Kwak, S. Lin, J. H. Lee, H. Ryu, T. Y. Kim, H. Zhong, H. Chen, and S. W. Kim, *ACS Nano* 10, 7297 (2016).
- 4) K. Kuriya, K. Ochiai, G. Kalita, M. Tanemura, A. Komiya, G. Kikugawa, T. Ohara, I. Yamashita, F. S. Ohuchi, M. Meyyappan, S. Samukawa, K. Washio, and T. Okada, *Appl. Phys. Lett.* 117, (2020).