

圧電効果を利用した発電教材

東 徹・奥添 敬悟

Learning Materials on Electrical Power Generation using Piezo Effect

Toru HIGASHI, Keigo OKUZOE

(Received October 1, 2013)

The new national curriculum regarding Technology Education at lower secondary school started from 2012. "Energy conversion" is a must for all students, and the new contents on electrical power generation, its storage and power conversion were introduced at 6th grade of primary school from 2011. Hand-driven power generators have been widely used in class room, that generate electrical power using electro-magnetic induction. There are alternative methods for power generation such as piezoelectric device, electrets device, thermo-electric device and solar cell. Among these devices, it is easy to use piezoelectric device in classroom

We developed learning materials on electrical power generation using piezoelectric device. First, the condition that maximum power can be obtained from piezoelectric device was investigated by experiment. Second, hand-shaking electrical power generator and shoes with piezoelectric devices were developed. Finally, power generation floor on which students can step and LED indicator by which stored power can be checked were developed.

Key words : Electrical Power Generation, Piezo Effect, Science technology education, Energy conversion

1. 緒 言

エネルギー問題・環境問題に対応する取り組みのひとつとして、平成23年度より全面実施されている小学校理科において「発電・蓄電」および電気の光・音・熱への変換を扱う「電気の利用」が新しく加えられている^[1]。また、平成24年度からの中学校技術・家庭科および理科においても、「エネルギー変換」「電気とそのエネルギー」「電磁誘導と発電」などの内容が取り扱われている^{[2][3]}。現在、小中学校の発電教材としては手回し発電機が広く使われている^[1]。発電のしくみとしては、発電所の発電機や手回し発電機など電磁誘導現象を利用したものが多い。他に圧電現象を使ったもの、静電型の発電素子を使ったもの、温度差を利用した熱電素子、光発電素子等がある^{[4][5]}。この中でも圧電現象は圧電素子に力を加えると電気が発生するものであり、電磁誘導に比べて発電エネルギーは非常に小さいが、力が発生するところであれば、簡単な構造で発電機を作ることができるという特長がある。小・中学校の教室でも圧電素子を使った発電の授業は問題なく実施することができる。この圧電現象を利用した発電教材に関して発表はなされている。しか

し、電力変換効率の視点からの児童・生徒が体験可能な教材についてはあまり報告されていないようである。

本研究では、まず、圧電素子から最大の電力を引き出すため、圧電素子の内部インピーダンスを実験的に測定した。これは、物体を圧電素子の上に落とし、その発電電力の負荷依存性を測定することにより行った。次に、この結果をもとに、手で振って発電する教材そして靴に圧電素子を埋め込み、歩くことにより発電する教材を開発した。更に、児童・生徒が乗って踏むことにより発電および蓄電する教材および発電量を目視で確認できるレベルメータを開発した。

2. 圧電素子の基本特性

図1に実験に使用した圧電素子の写真を示す^[6]。外側の金属板 (Brass) と内側の銀電極とこれらの間のセラミックにより構成されている。金属板の直径は35mm、内側の銀電極の直径は25mmである。圧電素子から効率よく電気エネルギーを取り出すためには、この素子の内部抵抗を調べる必要がある。この内部抵抗を調べるために、図2に示す発電特性測定装置を製作した。この測定装置では、まず、重さ19gの銅球を、

上部に取り付けた電磁石で吸い付けて固定する。次に、電磁石の電流を切ると、この鋼球は圧電素子の中心部に落下する。電磁石を使用することで、同じ条件で鋼球を落下させることができる。圧電素子には抵抗を接続し、その端子電圧をオシロスコープで測定した。この負荷抵抗を変化させて、抵抗に発生する最大電圧と瞬間最大発生電力を測定した。図3に負荷抵抗とそれに発生する最大発生電圧を示す。この図より、負荷抵抗が増加していくと、負荷抵抗が60k Ω 付近から発生電圧は飽和していき、その値は100k Ω で115Vであった。一方、図4に抵抗値と瞬間最大発生電力の測定値を示す。この図より、負荷抵抗が3k Ω のときに、瞬間最大発生電力が1.37Wとなっている。電力源から負荷に最大のエネルギーが供給される条件は、電力源の内部抵抗と負荷抵抗が等しい場合であるので、図4より、圧電素子の内部抵抗は3k Ω と大きな値を示すことがわかった。よって、この圧電素子には3k Ω の抵抗を示す負荷を接続すれば、最大の電力を取り出すことが可能である^[7]。圧電素子の負荷としてLEDとコンデンサを使用する場合、これらは抵抗値がk Ω オーダーより小さいので、これらの負荷を図1の圧電素子に接続しても効率よく電力を取り出すことはできない。圧電素子に接続されたLEDやコンデンサへ効



図1 圧電素子

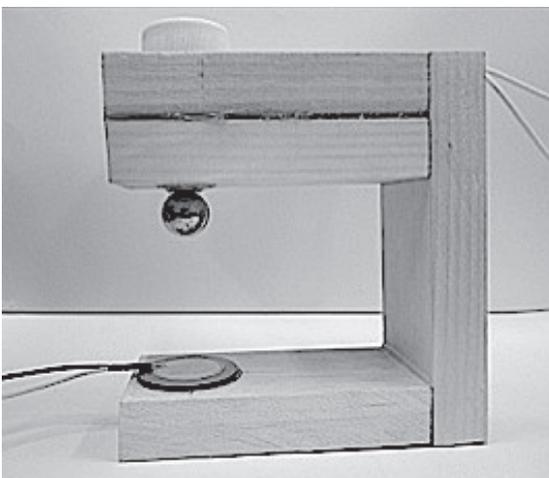


図2 圧電素子の発電特性測定装置

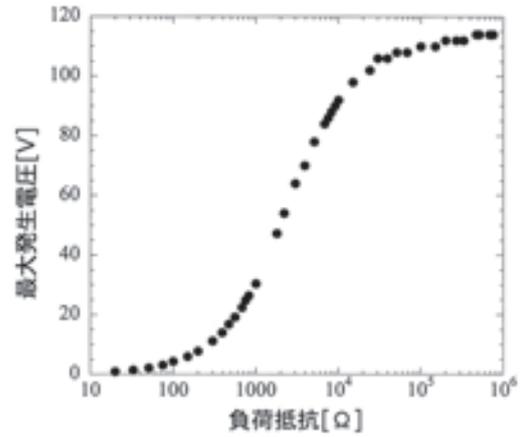


図3 負荷抵抗と最大発生電圧

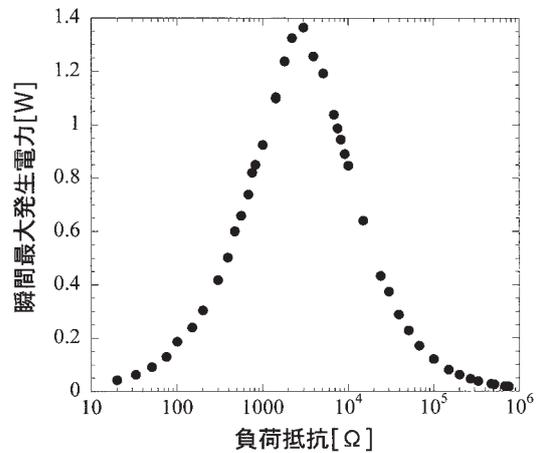


図4 負荷抵抗と瞬間最大発生電力

率よく電力を供給するには圧電素子を複数並列接続して、その内部抵抗を小さくする必要がある。

3. 圧電素子の実装

本研究で使用した丸型の圧電素子はとても薄いため耐久性が低く、強い力を加え過ぎると銀電極部分が割れてしまう危険性がある。そのためアクリル板の上に直接圧電素子を固定した場合は圧電素子が破損してしまい発電効率が落ちてしまうのに加え、圧電素子が直接アクリル板に固定されているためたわむことができず、発電しないということになってしまう。そこで圧電素子の基本特性を調べる際に使用した滑り止め用のマットをクッション材として使用し、圧電素子の耐久性を考えて2枚重ねて使用した。次に滑り止めと圧電素子の間に暑さ4mmのスポンジ状のクッション材を挟んだ。これは本来、椅子やテレビ台などの脚の下に貼り、床を傷つけないようにするためのものである。これを図5に示す。

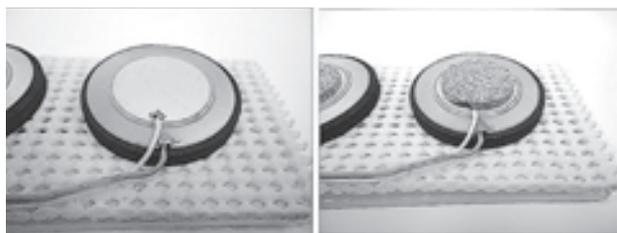


図5 圧電素子の実装

4. 圧電素子を利用した発電教材

4-1. 手で振ることにより発電する教材

手で振ることにより発電する教材を、図6に示す。これは、長さ5cmのアクリルの筒にパソコンのマウスボールを入れて、圧電素子を端面に固定したものである。アクリルの筒を持ち振ることで、マウスボールが圧電素子に衝撃を与え、この発電電力でLEDを点灯させることができる。ボールが当たったときに発生する電圧は交流なので、LEDは複数個を互いに逆極性に接続し、双方向に電流が流れるようにしている。この教材では、ボールが圧電素子に衝突するときにLEDが点灯するので、衝撃時の力学的エネルギーが電気エネルギーに変換されていることを体感することができる。



図6 手で振ることによって発電する教材

4-2. 歩くことにより発電する教材

歩くことにより発電する教材を図7に示す。これは、歩くことによりLEDを点滅させることができる靴である。この図に示すように、靴の底に並列に6枚接続した圧電素子を設置し、歩くとこれに圧力がかかり、靴の甲に配置したLEDが点灯するようになっている。LEDは図7の右図のように配置している。教室を暗くして、児童がこの靴を履いて歩いたり走ったりすることによりLEDが光るので、発電していることを体験することができる。



図7 歩くと発電する教材

4-3. 踏むことで発電・蓄電する教材

圧電素子を生徒・児童が足で踏むことで発電し、この電力をコンデンサに蓄電する教材を図8に示す。圧電素子を24枚並列に接続したものを、右足用と左足用に2枚製作した。両足でこれらの発電板に乗り、交互に足踏みしたときの発電電圧を図9に示す。この実験では、3kΩの負荷抵抗を接続し、この両端での発生電圧を測定している。ピーク電圧が+13Vと-13Vの交流電圧が発生しており、右足用発電板から発生した電圧と左足用発電板から発生した電圧では逆位相になっている。当初、右足用と左足用を分けずに、48個の圧電素子をすべて並列接続して1枚の発電板を製作した。しかし、この上に乗って足踏みしても電圧は発生しなかった。この理由は、片方の足によって発電した電流は、もう片方の足の部分にある圧電素子に流れてしまい、出力に流れなかったからである。

次に、この2枚の発電板から発生した電気エネルギーをコンデンサに蓄電する教材を開発した。図8に示すように、圧電素子からの発生電力は交流であるため、それぞれの発電板の出力にダイオード4個で構成される全波整流回路を接続し、直流へと変換している。この2つの直流出力を電解コンデンサに接続し、これに蓄電している。コンデンサは100μFのものを6個並列にして使用した。蓄電する際には、コンデンサに電圧が3.5Vになるまで踏み続けることにした。これは、負荷として、1.5Vから4.5Vまで動作するメロディーICを使用するからである。また、児童・生徒が発電するとき、どこまでコンデンサに蓄電できたかが一目で分かるように、24個のLEDを使ったレベルメータを製作した。これを、図10に示す。コンデンサの電圧が3.5Vになると、24個すべてのLEDが点灯する。3.5Vに達するのに約1分かかり、この蓄電したコンデンサでメロディーIC(UM66)を約6分間鳴らすことができた。

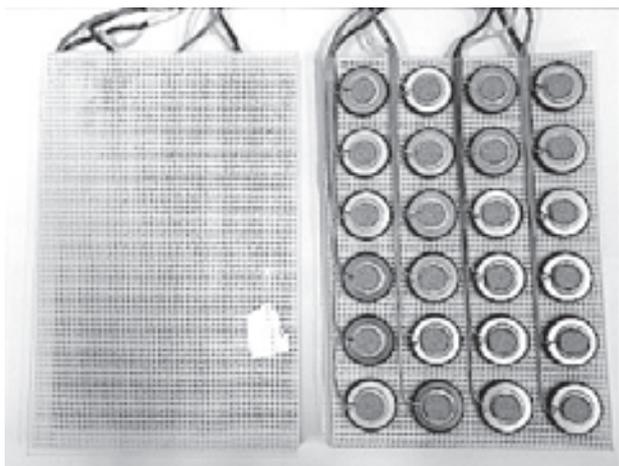


図8 踏むことで発電・蓄電する教材

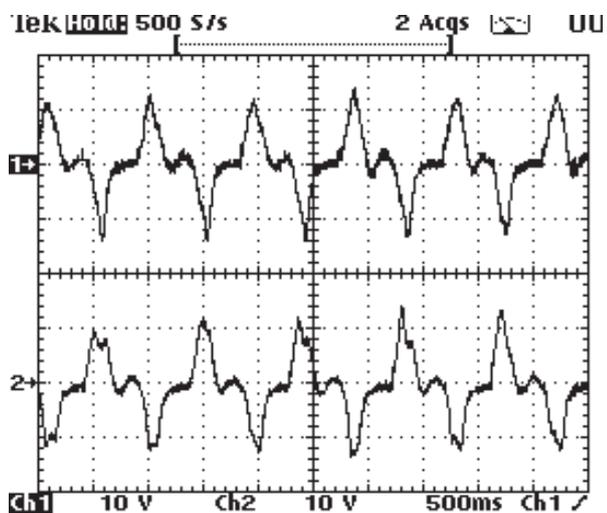


図9 右足左足用発電床の出力波形



図10 蓄電電圧用レベルメータ

5. 結言

本研究では、まず、エネルギー変換効率の視点より、圧電素子の基本特性を実験的に検討した。その結果、内部抵抗が数kΩと大きな値を持つので、LEDやコンデンサを負荷にするときは、圧電素子を並列に接続し内部抵抗を小さくする必要があることがわかった。次に、児童・生徒が手で振ると発電する教材、靴を履き歩くことで発電する教材、そして足で踏むことで発電・蓄電する教材および蓄電量が視覚化できるレベルメータを開発した。

今後、小学校および中学校で本教材を用いたエネルギー環境教育に関する授業実践を行う予定である。

参考文献

- [1] 文部科学省：小学校学習指導要領解説理科編，2008.
- [2] 文部科学省：中学校学習指導要領解説技術・家庭編，2008.
- [3] 文部科学省：中学校学習指導要領解説理科編，2008.
- [4] 特集「エネルギーハーベスト」，Journal of the Heat Transfer Society of Japan, Vol.52, No.218, 2013.
- [5] エネルギーハーベストの最新動向」，<http://www.neuro.sfc.keio.ac.jp/publications/pdf/cmc.pdf>
- [6] <http://strawberry-linux.com/pub/p37e.pdf>
- [7] 大野克彦：電気回路（1），オーム社，1984.