

知っておきたいキーワード

エネルギーハーベスティング

鈴木 雄二[†][†] 東京大学 大学院 工学系研究科

"Energy Harvesting" by Yuji Suzuki (School of Engineering, the University of Tokyo, Tokyo)

キーワード: Power MEMS, 光電変換, 熱電素子, 振動発電, エレクトレット

エネルギーハーベスティングとは

マイクロマシン技術 (MEMS) で製作されるデバイスの中で、エネルギー変換に関わるものはPowerMEMSと呼ばれます。マサチューセッツ工科大学で研究が行われた500円玉大のガスタービンに端を露し、持ち運び可能な高付加価値の超小型電源¹⁾がその代表ですが、ごく最近、Power MEMS分野でエネルギーハーベスティング (Energy Harvesting) にも注目が集まっています。

エネルギーハーベスティングとは、環境の中に薄く広く存在するエネルギーから、微弱ではありますが有用な電力を取出すものです (図1)。例えば、米国では、安全性確保と燃費改善の目的から、自動車タイヤの空気圧を測定するセンサ (Tire Pressure Monitoring System: TPMS) の装着が義務づけられています。タイヤの振動から発電することができれば、これらのセンサを半永久的にメンテナンスなしで使用することができます。また、橋や航空機などの構造物では、人手による点検の手間やコストを減らすために、生物の神経網のように多数の無線センサを散りばめ、リアルタイムで監視して安

全性を確保する、構造ヘルスマニタリングシステムが検討されています。ここでも、設置した場所での振動、電波、熱などから局所的に発電することができれば、ほとんどリサイクルなしに廃棄されるボタン電池が不要となり、電解液や重金属による環境負荷の低減にも貢献できると考えられています。

このようなエネルギーハーベスティングの利用が想定されるアプリケーションとしては、上述の車載用センサなど

のほかに、人間の居住空間での照明や空調のきめ細かい制御によってエネルギー消費削減を図るホームエネルギーマネジメントシステム (HEMS)、農畜産業での個体管理に用いられる無線通信IDタグ、人工内耳やインシュリンポンプなど、体内埋め込み型の医療デバイスなどが考えられ、長期的に電力供給を必要とする装置の自立電源として、現在多くの研究開発が行われています。

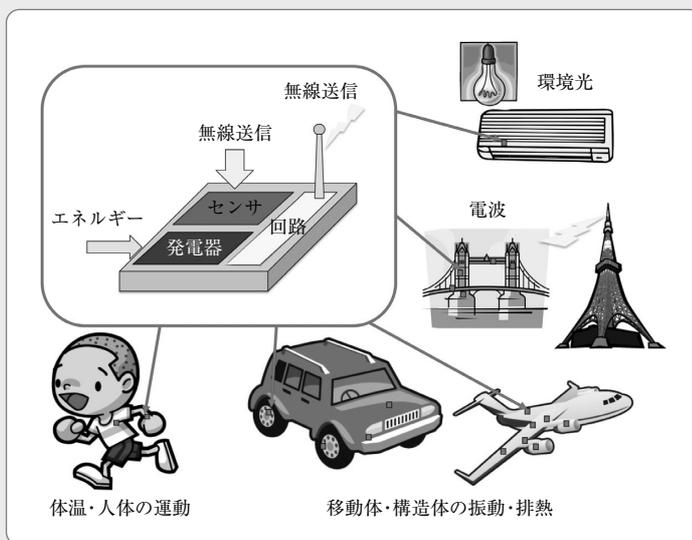


図1 エネルギーハーベスティングの概念

エネルギー変換方式と応用

環境に存在するエネルギーとしては、環境光、人体の体温、電波、振動などが考えられます。直射日光下では太陽電池が最も優れた電源と考えられますが、ここで想定するエネルギー源は、室内、夜間、装置内部での発電など、より一般的な使用が求められます。また、エナジーハーベスティングでは、今まで電源がなかった場所に微小電力を供給することによって新しい機能を発現させる、という高付加価値の電源

供給が目的なので、一般の太陽電池、風力発電など、送電網に接続する低コスト・大容量の電源とは明確に区別されます。

図2は、さまざまなエネルギー変換方式と、その発電密度²⁾³⁾をまとめたものです。シリコン系太陽電池は、室内の低い照度での変換効率は低く、単位面積あたりの発電量は数 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ 程度とされています。逆に直射日光下では、効率の低い色素増感太陽電池は、室内での発電では優れた性能を持つと考えられています。また、体温からは

熱電素子を用いることで電力を取出すことができます。気温が 22°C の時は、腕時計形のデバイスで $30\mu\text{W}/\text{cm}^2$ 程度が得られるとの研究結果もあります。さらに、エネルギー密度は小さいのですが、携帯電話、テレビなど都市環境に飛び交う無線電波から発電することも可能です。これらに対して、振動からの発電は比較的应用範囲が広いと考えられています。振動エネルギーから電力への変換方式としては、電磁誘導、圧電、静電誘導が検討されています。

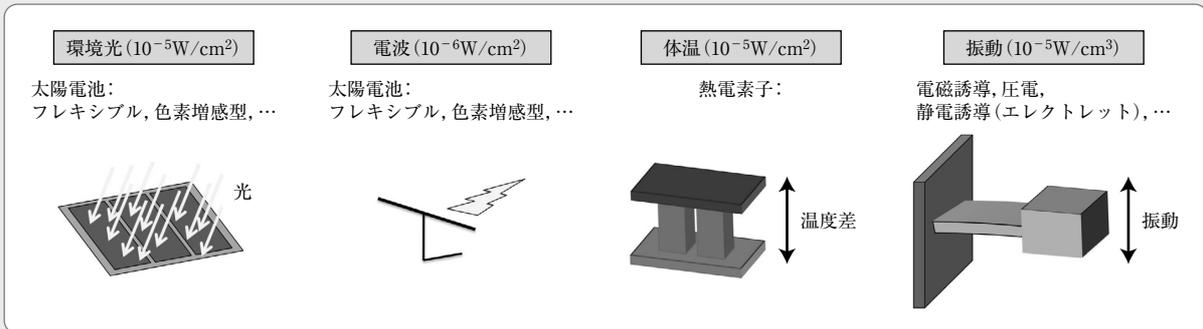


図2 さまざまなエネルギー変換方式

環境振動を使った発電

振動発電器は図3のようにモデル化することができます。発電器を外部振幅 y_0 、角振動周波数 ω で振動させると、バネで支えられた重り(質量 m)が発電器の筐体に対して相対運動します。運動エネルギーを電气的エネルギーに変換する素子は、重りの運動を妨げる反力 F を発生させますが、この反力と慣性力が釣り合う振幅として重りの振幅が定まります。当然、加振周波数と内部の振動系の共振周波数が一致する共振状態で最も振幅が大きくなり、理論

発電量は最大値 P_{max} をとります。しかし、一般には重りの振幅に上限値 z_{lim} があり(振幅<筐体の寸法)、近似的には $P_{max}=m\omega^3y_0z_{lim}/2$ が成り立ちます。したがって、与えられた周波数、外部振幅のもとで発電量を大きくするには、質量 m または振幅上限値 z_{lim} を大きくしなければならず、小型の発電器では環境に存在する低い周波数(<100Hz)からはそれほど大きな発電量が期待できないことが判ります。もちろん、大きな電力が取出せることが望ましいのですが、むしろ小電力でも目的を果たすことのできるシステム開

発が重要と言えます。

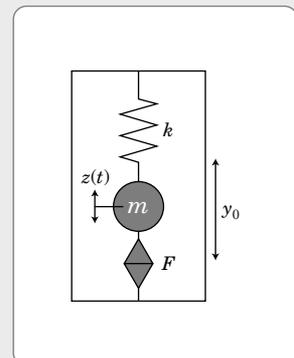


図3 振動発電器の力学モデル

エレクトレットを用いた発電

ここでは、ポリマーに半永久的に電子を打ち込んだ膜（エレクトレット）を用いた静電誘導型の発電器を紹介いたします。エレクトレット上に電極をかざすとエレクトレットの持つ電荷と反対符号の電荷が誘導されますが、電極を動かすことによって誘導される電荷量を変化させ、交流電力を取出すことができます。環境に存在する振動エネルギーは、低周波数領域に集中しているため、一般に用いられる電磁誘導よりも静電誘導の方が、高効率で振動エネルギーを電力に変換することが可能です。図4は、マイクロマシン技術で作られた振動型発電器のプロトタイプ

です。より大きな発電出力を得るのに必要な、高い電荷密度を持つエレクトレット膜⁴⁾、大振幅振動が可能なポリマバネなどが組み込まれています。エ

レクトレット膜を強制的に振動させる予備実験では、20Hzの振動から0.7mWの発電出力が得られており、有望な発電手法と考えられています。

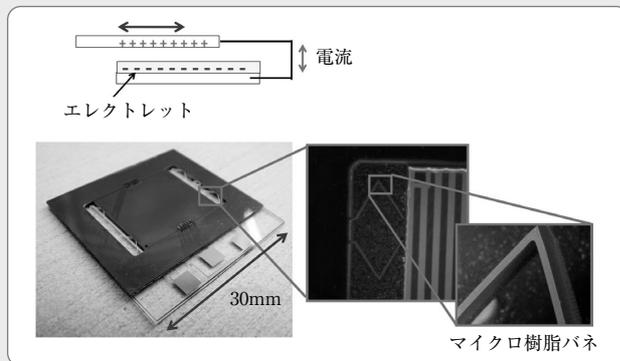


図4 エレクトレットを用いたマイクロ振動発電器のプロトタイプ⁵⁾

今後の展望

近年の低消費電力IC技術、無線技術の発達により、10 μ Wオーダーのわずかな発電量でも、間欠的にセンサから

データを取り込み、無線送信することが可能になってきています。現在、発電器や周辺回路を含めたシステムの実用化に向けて、国際的な研究開発競争が激化しています⁶⁾。2009年10月に

開催された最先端IT・エレクトロニクス展 (CEATEC Japan) でも、複数の企業がエナジーハーベスティングに関する展示をしており、今後の進展が注目されます。(2009年11月2日受付)

参考文献

- 1) A.H. Epstein and S.D. Senturia: Science 276, 1211 (1997)
- 2) J.A. Paradiso and T. Starner: IEEE Pervasive Computing, 4, 18 (2005)
- 3) 鈴木: 電気学会誌, 128, 435 (2008)
- 4) Y. Sakane, Y. Suzuki and N. Kasagi, J. Micromech: Microeng., 18, 104011 (2008)
- 5) M. Edamoto et al.: Proc. 22nd IEEE Int. Conf. MEMS 2009, Sorrento, 1059 (2009)
- 6) <http://www.powermems.org>



すずき ゆうじ
鈴木 雄二 1993年、東京大学大学院博士課程修了。東京大学助手、名古屋工業大学講師、東京大学講師、助教授を経て、現在、東京大学准教授。IEEE MEMS2010国際会議共同議長。専門は、マイクロエネルギー、MEMS、熱流体工学。

キーワード募集中

この企画で解説して欲しいキーワードを会員の皆様から募集します。ホームページ (<http://www.ite.or.jp>) の会員の声より入力可能です。また電子メール (ite@ite.or.jp)、FAX (03-3432-4675) 等でも受け付けますので、是非、編集部までお寄せください。(編集委員会)