

エネルギーハーベスティングと建築設備の現在地 Applying Energy Harvesting Technologies to Building Equipments

株式会社 NTT データ経営研究所 社会・環境戦略コンサルティング本部

Socio & Eco Strategic Consulting Sector.

NTT Data Institute of Management Consulting, Inc.

竹内 敬治

Keiji TAKEUCHI

キーワード：エネルギーハーベスティング(Energy Harvesting), ワイヤレスセンサネットワーク (Wireless Sensor Network), 室内環境 (Indoor Environment), エネルギーマネジメント (Energy Management), BEMS

1. はじめに

光, 振動, 温度差, 電波など, 環境中に存在する未利用のエネルギーを電力に変換するエネルギーハーベスティング技術が注目されている。建築設備のセンシングや制御を行うためには, センサやアクチュエータへの電源供給が必要であるが, そのための電源配線のコストや電池交換のコストが, センシング・制御システム導入・普及の障壁となっている。エネルギーハーベスティング技術によって, その場で発電し電源供給することが可能になれば, 電源配線や電池交換が不要になり, 建物のスマート化が加速されることが期待できる。

建設関係は世界的にも保守的な業界であるが, 近年, エネルギーハーベスティング技術の応用事例が増加してきた。本報告では, 現時点において, エネルギーハーベスティング技術で何が実現し, 何が課題になっているかを示す。併せて, 弊社開発の中小オフィスビル向け BEMS へのエネルギーハーベスティング技術適用例も紹介する。

2. 既に普及しているエネルギーハーベスティング技術

1980年代, INAX (現 LIXIL) は, 吐水を利用した発電の特許を取得した。この技術「アクエナジー」は, トイレの手洗い用自動水栓や, 自動洗浄機能のある小便器に応用されている。トイレの自動水栓は, 手を差し出すと赤外線センサで検知して自動的に水が出るが, このときに水車で発電した電力を蓄電しておき, センサを駆動するため, 電源配線が必要ない。水周りの配線が不要な自動水栓は, 特許失効後, TOTO など他社も製造・販売するようになった。TOTO の自己発電水洗「アクアオート・エコ」は, 駅や商業施設, オフィスなどの公共施設を中心に設置され, 2011年9月までに累計出荷台数は34万台を超えた¹⁾。「アクアオート・エコ」のサーモタイプでは, 吐水中に水温に応じた色のLEDを点灯させる機能もある。²⁾

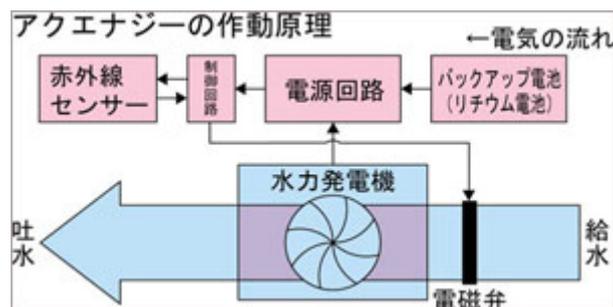


図1 INAX アクエナジーの作動原理³⁾

2000年代半ばには、ドイツのシーメンスからスピノフした **EnOcean** 社、米国の NASA からスピノフした **Pulse Switch** 社が、照明制御用の無電源ワイヤレススイッチを発売した。これらのスイッチは、スイッチを押す力で発電して無線で ON/OFF 信号を送信するもので、配線のための人件費・材料費の削減効果、レイアウト変更の容易さが評価されて、徐々に普及が進んでいる。同様の機能を持つワイヤレススイッチは、フランスの **Schneider Electric** 社が工場向け製品を販売している他、国内メーカーではミツミ電機、村田製作所、アルプス電気なども開発済みである。



図2 各種ワイヤレススイッチ⁴⁾

(左から、EnOcean、Pulse Switch、Schneider Electric、ミツミ電機、村田製作所、アルプス電気)

通常の無線通信のプロトコルでは、データ伝送が正常に終了したときに受信側から送信側に **ACK** と呼ばれる信号が送られる。送信側では、データ送信後一定時間内に **ACK** 信号が戻って来なければ、データ伝送が正常に行われなかったと判断し、データを再送する。しかし、スイッチを押す力で発電する場合には、これらの処理を全て行うには発電量が不足するため、データを一方的に送信するだけで **ACK** を受け取らない特殊な無線プロトコルが用いられている。照明制御用スイッチの場合、データ伝送が正常に行われなければ、照明の **ON/OFF** が行われないため、スイッチを操作した人がそれに気づいてスイッチをもう一度押す。通常は無線のプロトコルが自動的に行う **ACK** の受け取りやデータ再送の処理を、人間が行うことで、低消費電力化を実現している。そのような特殊な無線プロトコルの代表例が、**EnOcean** (開発した企業と同じ名称) である。**Pulse Switch** は、独自の無線プロトコルで同様の機能を実現している。

クリティカルな情報を無線で送信するためには、確実に通信を完了するために双方向通信が必要であり、また、セキュリティを確保するための暗号化なども必要となる。これらの機能を実現しようとすると、無線の消費電力が大きくなり、人間が押す力 (数ニュートン) による発電で賄うことは難しくなってくる。

3. 実用化しているエネルギーハーベスティング技術

まだ普及は進んでいないが、技術的には完成度が高まっており、これからの普及が見込まれる製品として、アモルファスシリコンの太陽電池を電源とした室内用センサがある。照度センサ、温度センサ、湿度センサ、人感センサなどを活用した照明機器や空調機器の自動制御は、先述の **EnOcean** (正確には **OEM** メーカー) などが製品化している。室内環境下で、より発電効率の高い、色素増感太陽電池を電源とした室内用マルチセンサは、**Schneider Electric** が発売予定である。CO₂ センサの消費電力も下がり、エネルギーハーベスティング駆動が可能となってきている。屋内環境の自動制御アプリケーションは世界的にも普及が見込まれる。



図3 各種室内センサー⁵⁾ (左から OPUS green Net、Schneider Electric、フジクラ)

エネルギーハーベスティング技術を電源として、センサだけでなく、アクチュエータを作動させる技術も実用化しているものがある。

ドイツの薄膜熱電素子メーカ Micropelt は、ラジエータのバルブを遠隔操作するための、スマートバルブ iTRV (Intelligent Thermostatic Radiator Valve) を発売した。ラジエータの発熱を利用して、室温との温度差で発電する仕組みである。ラジエータの温度は室温より高いため、安定して発電することが可能である。

室温センサ、窓の開閉センサ、人感センサと組み合わせて、ラジエータのバルブを自動制御することで、30%程度の省エネが図れるという⁶⁾。日本ではあまり需要がないと思われるが、ラジエータが広く普及している欧州では、高い需要が見込まれる。



図4 Micropelt が製造・販売するスマートバルブ iTRV⁷⁾

4. エネルギーハーベスティング技術実用化の課題

エネルギーハーベスティング技術によって電源配線や電池交換の手間がなくなれば、建物設備のセンシングおよび自動制御によるスマート化の促進が期待される。既に、上述のような技術・製品は、実用化し、一部普及も進んでいる。

しかしながら、より広範囲のスマート化を可能とするためには、まだ技術的課題も多い。以下に、エネルギーハーベスティング技術が普及するための課題を列挙する。

(1) 発電技術（発電環境）

エネルギーハーベスティング技術そのものにも、多くの技術的課題がある。例えば、より低い照度で効率よく発電する太陽電池技術、建物自体や装置類の微細な振動から効率よく発電する振動発電技術、壁を隔てた各住居空間の温度差を利用して発電できる熱電発電技術などが望まれる。ミツミ電機と竹中工務店は、ダクトの振動を利用した振動発電デバイスの共同開発を行った。エンドユーザとしての建築会社や住設メーカと、発電デバイスを開発するメーカとの共同開発が、実用化を加速すると期待される。

エネルギーハーベスティング技術が利用できるためには、そもそも環境中に余ったエネルギーが必要であり、どのような場所でエネルギーが得られるかという観点の研究も不足している。床を踏んで発電した場合に人間が疲れるなどの影響もあるため、環境や人との相互作用も含めた研究の進展が望まれる。

(2) 蓄電技術

センサやアクチュエータを駆動するためには、常時発電してエネルギーを蓄積しつつ、間欠的に作動させることが必要となる。照明スイッチのように、押した瞬間だけ作動すればよいアプリケーションは少なく、建物のスマート化を進めるためには、蓄電技術との組み合わせは必須といえる。

エネルギーハーベスティング技術と組み合わせる蓄電技術に必要な特性は、低リーク及び良好なサイクル特性である。エネルギーハーベスティングによる発電量は一般的には微小なため、蓄電デバイスからのリークが大

きいと、いつまで経ってもエネルギーが貯まらないということがありうる。また、デバイス寿命までの充放電サイクル数が少ないと、たとえ発電デバイスや無線回路等は数十年の寿命があったとしても、蓄電デバイスが寿命に達することで、システム全体が機能しなくなる。例えば、携帯電話などに使われているリチウムイオン電池は2年程度で容量の低下が著しく、エネルギーハーベスティング技術との組み合わせには、必ずしも向いていない。

キャパシタはサイクル特性は良いがリークが大きく、二次電池はリークが少ないがサイクル寿命が短い。エネルギーハーベスティング向けの蓄電デバイスとして、全固体薄膜リチウムイオン電池などが製品化はされているが、まだ技術開発の余地が大きい。

(3) 無線技術

間欠動作する無線センサの消費電力の多くは無線の送受信が占める。エネルギーハーベスティングを電源として活用するためには、低消費電力の無線技術との組み合わせが必須といえる。標準規格化しているものでは、IEEE802.15.4、EnOcean(一部周波数について、ISO/IEC 14543-3-10として標準化)、Zigbee Pro Green Power、ANT+、6LowPAN、Wireless Hart、ISA100.11a、Bluetooth Low Energy などがあり、一長一短である。通信の信頼性向上のために双方向通信や暗号化を行うと、どの通信プロトコルでも消費電力が増えてしまう。建物内のセンサやアクチュエータとの通信に広く使われるためには、さらなる低消費電力化が必要とされる。低消費電力かつ信頼性の高い無線技術の開発が望まれる。

(4) 電源回路、センサ、アクチュエータ、マイコンなど他の電子部品の低消費電力化

先述したが、エネルギーハーベスティング技術による発電量は一般的には微小であり、エネルギーハーベスティングで駆動されるセンサノード全体の消費電力をできる限り低下させる必要がある。様々な電子部品の低消費電力化の進展が望まれる。

(5) コスト低下

発電のためのエネルギーハーベスティングデバイスに、蓄電デバイス、電源回路、バックアップ用の一次電池などを組み合わせた電源部品のコストが、十分に下がらないと普及は進まない。特に、電池取り換えや電源配線が容易なケースでは、導入が困難である。ボタン電池に匹敵するまでの低価格化は不要と考えられるが、現状の製造コストでは広く普及させることは困難である。

5. おわりに

建物のスマート化をはじめとして、エネルギーハーベスティング技術への期待が高まっているが、現状技術では、まだ導入可能なアプリケーションは限られる。本日出席されているエンドユーザの方々の参画による実用化の促進に期待したい。

以上

参考 URL (2013年7月1日アクセス)

- 1) <http://www.toto.co.jp/company/press/2011/09/pdf/20110928.pdf>
- 2) <http://www.toto.co.jp/products/public/aquaauto/01.htm>
- 3) http://iinavi.inax.lixil.co.jp/project/product/set/syo/pd_s_s01.html
- 4) 各社ウェブサイト
- 5) 各社ウェブサイト
- 6) http://www.micropelt.com/down/itrv_booklet.pdf
- 7) http://www.micropelt.com/applications/smart_valve_itrv.php