

エネルギーハーベスティング環境センサノード

環境・エネルギー研究所 山本和寛¹・岡田顕一²
エンジニアリング事業部 中山正樹³
生産技術・設備センター 田口拓⁴・金枝謙太⁴・林広幸⁴
新事業開発営業部 木藤浩之⁵

Wireless Environmental Sensor Node Using Energy Harvesting Technology

K. Yamamoto, K. Okada, M. Nakayama, T. Taguchi, K. Kaneeda, H. Hayashi,
and H. Kito

色素増感太陽電池 (Dye-Sensitized Solar Cell, 以下DSCと記す) は, 明るい場所だけではなく, 弱い光や拡散光でも優れた発電特性を発揮する太陽電池で, 明るい場所, 日陰, 窓際, 屋内照明下などでも使用できるため設置場所を選ばず, エネルギーハーベスティング (環境発電) の分野で最適な発電デバイスとして注目されている. このDSCを搭載したワイヤレス環境センサシステムは, 電池交換や配線工事などの煩わしさがなく自由に設置してデータを集めることができるため, スムーズなシステム導入とメンテナンス費用の削減を可能にする. 本稿では, DSCを電源に用いた多機能, 小型, 軽量の室内用の環境センサノードを開発したので報告する.

Dye-sensitized solar cell (DSC) is a photovoltaic cell with excellent power generation performance even under low-light intensity or diffused light conditions as well as under high-intensity light. Because DSCs can be used under low illuminance conditions like in the shade, near windows or inside a room, it has been attracting attention as an optimal power generation device for the energy harvesting devices. Wireless environmental sensor systems powered by DSC have advantages such as easy installation and low maintenance costs because it does not require a battery change or wiring. In this report, we have developed multifunction, compact and lightweight wireless environmental sensor node powered by DSC for indoor condition.

1. ま え が き

近年, 無線送信可能なセンサを環境中に複数設置して, 環境情報 (温度, 湿度, 気圧等々) を取得し活用するワイヤレスセンサネットワークに注目が集まっている. 無線を使用することによりケーブル配線工事のコストが不要になるため, HEMS, BEMSに代表されるエネルギー管理, ヘルスケア, セキュリティ, 農業IT, インフラ管理など多くの分野で導入が積極的に進められている. しかしながら, 既存システムに用いられるワイヤレスセンサノードの多くは一次電池駆動であるためにその交換コストが問題になっている. そのため, 環境発電デバイス¹⁾を電源に用いた電池交換レスなセンサノードの実現が望まれている.

住宅, オフィスや店舗といった生活空間には, 必ず照明機器が備えられている. そのため低照度での発電特性が良好なDSCは, 多くの場所で発電デバイスとして使用できる²⁾³⁾. 図1に一般的な生活環境の照度を計測した結

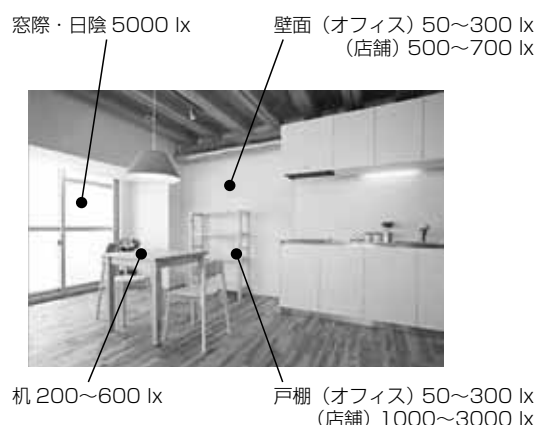


図1 室内の照度例

Fig. 1. Represent illuminance of indoor condition.

1 光発電開発室
2 光発電開発室室長
3 通信エンジニアリング部グループ長
4 生産技術開発部
5 新事業開発営業部

略語・専門用語リスト

略語・専門用語	正式表記	説明
DSC	Dye-Sensitized Solar Cell	色素増感太陽電池
EH	Energy Harvesting	環境発電
HEMS	Home Energy Management System	ホームエネルギー管理システム
BEMS	Building Energy Management System	ビルディングエネルギー管理システム
LIC	Lithium Ion Capacitor	リチウムイオンキャパシタ
EDLC	Electric Double-layer Capacitor	電気二重層キャパシタ

果を示す。測定場所によって明るさは異なるものの 50 ~ 5000 lx の環境であり、10 lx 以上の照度で発電可能な DSC を用いれば効率的に電力が得られる。さらに DSC はスクリーン印刷法を用いたシンプルな製造工程で作れるためデザイン自由度が高く、設置環境に合わせたモジュール設計ができる点でも発電デバイスに適している。今回、DSC を電源に用いたエネルギーハーベスティングセンサノードおよびシステムを開発したので報告する。

2. EH 環境センサシステム

2.1 システム構成

EH 環境センサノードの構成を図 2 に示す。発電、電源管理を行う電源部と、蓄えた電力を使用するセンサ・無線部とに分けられる。センサノードは室内のような人目に付く場所でも使用されるため、設置しても美観を損なわないデザインであることも必要とされる。

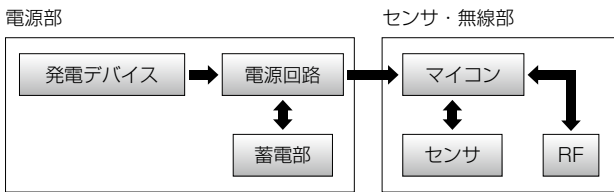


図 2 EH 環境センサノードの構成

Fig. 2. Block diagram of wireless sensor node using energy harvesting technology.

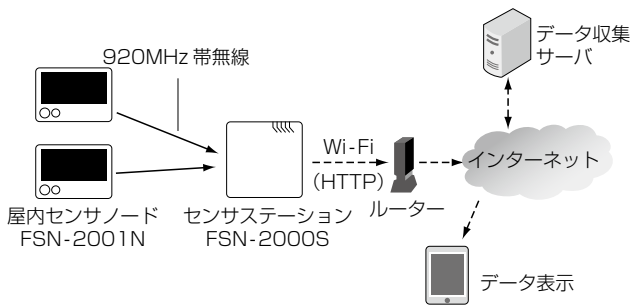


図 3 ワイヤレスセンサシステムの構成

Fig. 3. Components of wireless sensor system.

ここで図 3 に前述の EH 環境センサノードを用いたワイヤレス環境センサシステムの構成を示す。センサステーションは複数台のセンサノードからセンシングデータを受信し、ルーターをかいしてインターネット上のクラウドサーバーへデータを送信する。さらにサーバーに蓄えられたデータは、携帯端末や他のシステムから閲覧され活用することができる。このシステムを連続して動かすためには、電源部の蓄電エネルギーとセンサ・無線部の消費エネルギーのバランスをとることが重要であり、そのキーテクノロジーについて後述する。

2.2 電源部

図 4 に代表的な DSC の外観、表 1 にその特性を示す。FDSC-FSC 4 のような単セルはセル間の封止が不要なの

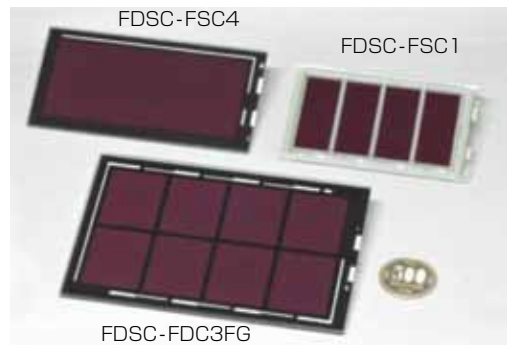


図 4 DSC モジュール外観

Fig. 4. Various DSC modules.

表 1 DSC モジュールの特性

Table 1. Output specifications of various DSC modules.

特性	単位	FDSC-FSC 1	FDSC-FDC 3 FG	FDSC-FSC 4
最大出力 (P _{max})	μW	140 (min), 170 (Typ)	305 (min), 450 (Typ)	180 (min), 250 (Typ)
動作電流 (I _{OPe})	μA	90 (min), 120 (Typ)	100 (min), 130 (Typ)	465 (min), 630 (Typ)
動作電圧 (V _{OPe})	V	1.5	3.0	0.38
開放電圧 (V _{OC})	V	1.8-2.6	3.5-5.2	0.45-0.65
セル数	-	4	8	1
外形寸法	mm	56×91	84×130	56×112

で、その面積だけ発電量を大きくできる。さらにそれはデザイン性と信頼性を高めることにもつながるためセンサノードの発電デバイスに最適である。

多くの太陽電池と同様に、DSCのエネルギーを安定して蓄電するためには昇圧もしくは降圧のDC-DC変換回路が必要になる⁴⁾。FDSC-FSC 4のように入力電圧が小さい場合には、昇圧効率が低下する問題が発生する。そこで当社では、低電圧入力でも高効率にDC-DC変換できる電源ICや自己消費の小さい超低消費電力ICを用いた独自の回路設計により、限りなくロスと消費電力を低減してFDSC-FSC 4を発電デバイスに適用した。

一方、蓄電デバイスには自己放電の少ないLIC⁵⁾を採用した。LICは充放電を繰り返しても劣化しにくい特長も有するため環境発電に適した蓄電デバイスであると考えている。図5にEHの分野で用いられる代表的な蓄電デバイスであるLICとEDLCの自己放電の比較を示す。自己放電の小さいLICは長期間にわたって著しい電圧の低下が起こらないことが確認できる。

図6にFDSC-FSC 1とLICを使って試作した電源モ

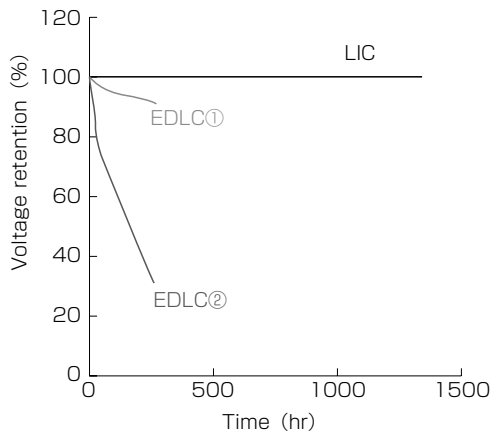


図5 各種キャパシタの自己放電
Fig. 5. Self-discharge of various capacitors.



図6 電源モジュール外観
Fig. 6. DSC power source module.

ジュールの外観、表2にその特性を示す。この電源モジュールは蓄電した電力を定電圧出力することができ、一次電池と置き換えるだけで簡単に電源をEH化することができる。図7に電源モジュールの充電特性の測定値と、発電量から昇圧のロス差し引いて求められる計算値の比較を示す。測定値と計算値はほぼ一致し、漏洩電流は200 lx照度下におけるDSC発電量のおおよそ4%にあたる約2.8 μAと良好な結果であった。これは設計回路が前述とおりに、ロスと消費電力が低減されたものであることを示している。

2.3 センサ・無線部

EH環境センサノードには複数個のセンサが必要となる。そこで汎用的なセンサとして、温度、湿度、照度、気圧、人感の各センサを搭載した。さらにデジタルとアナログの外部センサポート（各1個）を拡張用に設けた。一方、無線には長距離を確実にデータ転送することが求められるため、最大占有帯域幅が比較的広く、周波数の干渉問題の少ない920 MHz帯の特定小電力無線を採用した。電波の回り込みが大きいのでビルの陰などにも電波が届きやすくなるメリットがある。これらセンサや無線モジュールは低消費化することが必要であるため⁶⁾、センシングと無線送信する時間を限りなく短縮し、それ以外はスリープ状態となる制御を行って消費電力を極限まで低減させている。

表2 電源モジュールの特性
Table 2. Specifications of a power module.

定格蓄電電力	170 μW (Typ) @白色LED 200 lx
最大出力	DC 3±0.2 V / 100 mA 突入電流 ≤ 185 mA (印可時間 10 μs)
蓄電容量	27 mWh (100 J)
外形寸法	W 58×H 125×D 15 (mm) (突起物含まず)

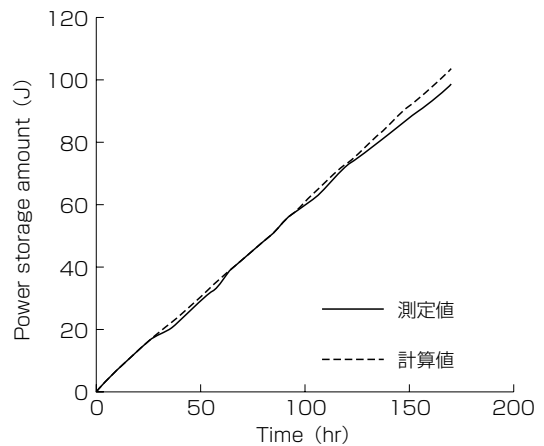


図7 電源モジュールの充電特性 (200 lx照度下)
Fig. 7. Charging rate of the power source module under 200 lx illumination.

3. システム特性と用途例

図 8 に試作したセンサノードとセンサステーションの外観、表 3 にシステムの特徴を示す。室内の壁面または卓上に設置しても違和感のないよう小型、薄型、シンプ



図 8 センサステーションとセンサノード外観
Fig. 8. Newly-developed sensor station and sensor node.

表 3 ワイヤレス環境センサシステムの特性
Table 3. Performances of wireless sensor system.

データ送信周期	センサステーションにより 設定変更可能 (1 分～60 分)	
無線方式	920 MHz 帯特定小電力無線 IEEE 802.15.4 g/e	
センサ	温度	-20 ~ 60 °C
	湿度	0 ~ 100 % RH (0 ~ 60 °C にて)
	気圧	300 ~ 1100 hPa
	照度	0 ~ 100 000 lx
	人感	最大 5 m
動作環境	温度: -10 ~ 50 °C, 湿度: 20 ~ 85 % RH	
寸法	W 120×H 85×D 20 (mm) (突起物含まず)	

ルにデザインした。図 9 にセンサノードのエネルギー収支を示す。300 lx の光を 12 時間間隔で 5 日間照射し、その後 2 日間無照射状態が続く状態を 1 サイクルとする環境下にセンサノードを設置した。この環境はオフィス環境などを想定している。温度、湿度、照度、気圧等のデータを光照射の有無によらず 5 分間隔で連続計測した結果、1 サイクルにあたる 7 日後には蓄電量が初日に比べて増加した。これはこのサイクルが続く限り、連続動作ができることを示している。

図 10 にワイヤレスセンシングシステムの応用例、図 11 に各種センサデバイスの消費電力を示す。スマートハウスのような室内環境での使用はもちろんのこと、ビニールハウスで光が遮られてしまう農業 IT や日陰での使用も予想される構造物監視など、従来の屋外用太陽電池が不得意な十分に日射が得られない分野にも今回開発した

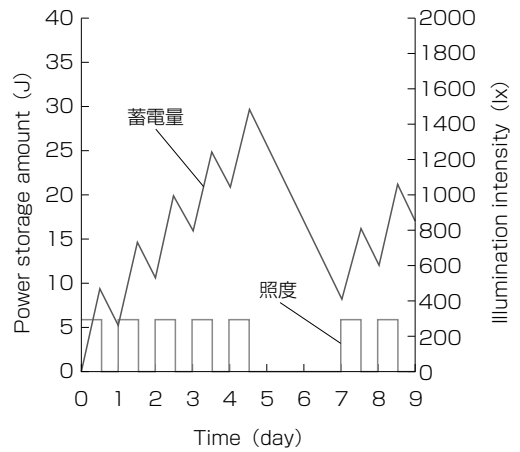


図 9 ワイヤレスセンサノードのエネルギー収支
Fig. 9. Energy harvesting and consumption balance of wireless sensor node under 300 lx illumination.

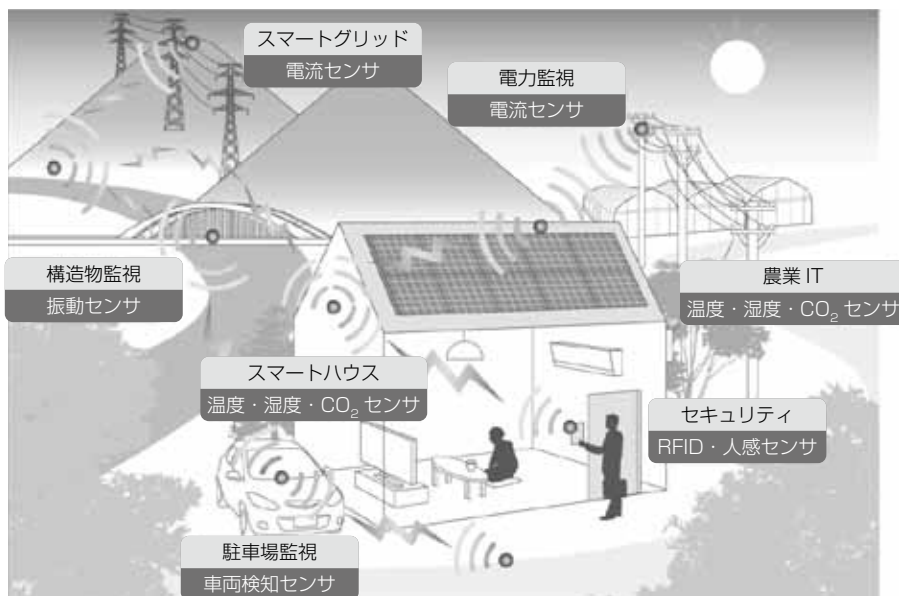


図 10 ワイヤレス環境センサシステムの適用例
Fig. 10. Examples of the application of wireless sensor system.

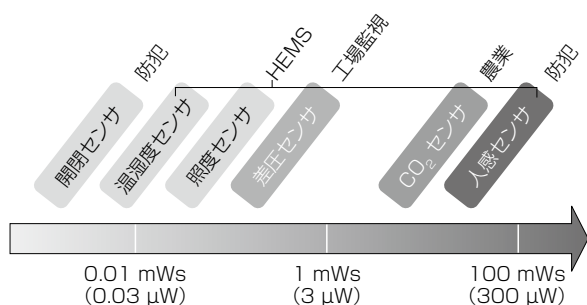


図11 各種センサデバイスの消費電力
Fig. 11. Examples of power consumptions of various sensor devices.

EH環境センサノードを活用できると考えている。また、これまで比較的消費電力の大きかったCO₂ センサの低消費電力化も進んでおり⁷⁾、短いセンシング周期が必要とされるような分野でもEH環境センサノードが普及すると考えている。

4. む す び

蓄電のロスを限りなく低減し、センサ・無線の消費電力を抑えることにより、DSCの発電電力のみで連続動作することのできるエネルギーハーベスティング環境センサノードを実現した。電池交換が不要でかつ設置するだけで動作することができるため様々な用途で使用できると

考えている。今後は、さらなる低消費電力化を目指すとともに実用化を進めていく予定である。

本開発の一部には、独立行政法人新エネルギー・産業技術開発機構（NEDO技術開発機構）からの委託研究にて開発した技術を応用した。

参 考 文 献

- 1) 竹内敬治：「エネルギーハーベスティング技術」, 電気評論, 11月号, pp.51-55, 2012
- 2) 岡田顕一ほか：「環境発電用色素増感太陽電池モジュール」, フジクラ技報, 第121号, pp.42-46, 2012
- 3) 田辺信夫：「エネルギーハーベスティング技術への応用が期待される色素増感太陽電池」, フジクラ技報, 第123号, pp.111-115, 2012
- 4) 甲斐田陽一：「環境発電のワイヤレスセンサネットワークへの応用」, 伝熱, 第218号, pp.21-29, 2013
- 5) 長谷部章雄：「リチウムイオンキャパシタの開発・製品化動向と応用展開」, 炭素, 第256号, pp.33-40, 2013
- 6) 藤森司：「センサネットワーク用低電力アナログフロントエンド回路技術の開発」, 電学誌, 第4号, pp.218-221, 2013
- 7) D. Gibson, et. al. : "A Novel Solid State Non-Dispersive Infrared CO₂ Gas Sensor Compatible with Wireless and Portable Deployment", Sensors, No.13, pp. 7079-7103, 2013