

環境発電を利用する メンテナンスフリー無線技術

高橋 季之 露木 敬尉
森 淳

近年の低消費電力デバイスや低消費電力無線技術の進展により、IoT機器はヘルスケアやメディカル分野、土木・建設現場や高所・危険個所に設置された設備の監視など用途が広がっている¹⁾。IoT機器の普及台数は、2020年に400億台²⁾と予測され、同時に電源の確保が困難な場所に設置するケースが増えることも予想される。この場合、電源の確保は電池利用となるが、交換や充電などメンテナンスを行う必要がある。設置場所によっては容易に作業できないケースもあり、メンテナンスコストが膨大になる。また、近年IoT機器では欠かせない「無線通信」の領域でも低消費電力に特化したデバイスや通信方式が数多く出てきている。

本稿では、IoT機器の電源問題を解決するための手段として「環境発電を利用する低消費電力無線通信」の可能性を検証するために「小型メンテナンスフリー無線端末」を開発し、検証した結果を紹介する。

環境発電（エネルギーハーベスティング）技術

環境発電は、太陽光や室内照明光、振動、熱、電磁波などの身の回りにあるわずかなエネルギーを電気エネルギーに変換する発電技術であり、エネルギーハーベスティングとも呼ばれている。

(1) 環境発電方式と発電量

環境発電技術は、古くから知られていたが、小型無線機器では安定した電力を生み出すことが難しいことから、実用化に結び付かなかった。主な環境エネルギー源と発電量を参考文献³⁾を元に編集し、表1にまとめる。

表1 環境エネルギー源と発電量

環境エネルギー源		発電量
光エネルギー	太陽光	100mW/cm ²
	室内光	100μW/cm ²
力学的エネルギー	機械振動	800μW/cm ²
	人工振動(腕振り)	4μW/cm ²
熱エネルギー	体温	60μW/cm ²
電磁エネルギー	電波	<1μW/cm ²

(2) 各エネルギー源の特徴

① 光エネルギー

電卓をはじめ、可視光を用いた太陽電池は最も多く利用されている発電技術であり、小型化や高効率化が進んでいる。

② 力学的エネルギー

走行中の自動車や歩行中などの振動により発電することから、ウェアラブル端末への応用が期待されている。

③ 熱エネルギー

体表温と外気や排気口内部と外部などの温度差により発電する技術である。一般的には、温度差の確保が困難なため、力学的エネルギーなどの他のエネルギーと組み合わせ使用されることが多い。

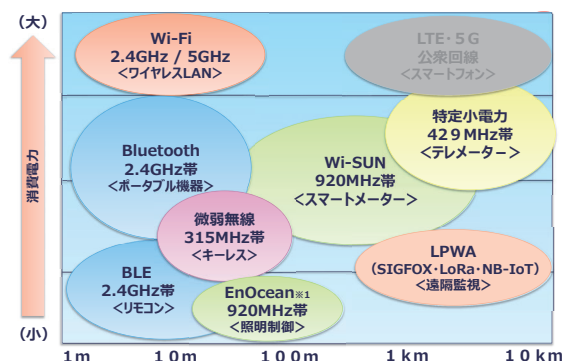
④ 電磁エネルギー

テレビ、ラジオなどの電磁波をレクテナと呼ばれるアンテナと整流回路により発電する技術である。欧米では製品開発が活発になりつつある。

低消費電力無線通信の種類と特長

(1) 低消費電力無線通信の位置付け

現在のIoT機器は、有線や無線LAN、Bluetooth[®]*1)、Wi-SUNなどの近距離無線通信及びLTE・5Gなどの広域無線通信が使用されている。代表的な無線通信方式と通信距離・消費電力の関係を図1に示す。



※1 環境発電無線通信技術または本技術の開発会社名称

図1 代表的な無線通信方式

*1) Bluetooth[®]は、Bluetooth SIG, Inc. USAの商標または登録商標です。

環境発電利用に適した低消費電力無線通信方式は、Bluetooth Low Energy (以下、BLE) やLow Power Wide Area (以下、LPWA) が挙げられる。LPWAの主要規格として、現在のところSIGFOX、LoRa^{*2)}、NB-IoTが主流となっている。それぞれの通信方式の仕様を表2に示す。

表2 低消費電力無線通信方式

	BLE	SIGFOX	LoRa	NB-IoT
周波数帯(Hz)	2.4G	920M	920M	携帯電話と同じ
通信速度(bps)	1.0M	100	3k	62k
通信距離(m)	~10	~50k	~20k	~5k

(2) 低消費電力無線通信方式の特長

①BLE

Bluetoothバージョン4.0から追加になった低消費電力の通信モードである。パソコンやスマートフォンなどのモバイル機器で標準対応して広く普及している方式であり、ヘルスケアや医療分野、パソコン周辺機器などに利用されている。

②SIGFOX

フランスのSIGFOX S.A.社が開発した通信規格で、100bpsという極めて低速な通信速度だが、通信距離は最大50km程度で広範囲をカバーし、電池1本で数年稼働可能な省電力性能を備えている。日本では、2017年に京セラコミュニケーションシステムがサービスを開始している。国内のサービスエリアは、人口カバー率95%⁴⁾である。

③LoRa

アメリカのSemtech社が中心となって設立された「LoRa Alliance」によって仕様策定され、オープンな通信規格である。

④NB-IoT

LTEの標準規格を策定する3GPP (3rd Generation Partnership Project) が2016年に仕様策定した。LTE規格に含まれるが、通信速度は上り62kbps、下り26kbpsと低速である。

小型メンテナンスフリー端末試作機開発方針

著者らは、ヘルスケアや設備監視用途での使用を想定した小型メンテナンスフリー端末試作機を下記の三つの方針で開発した。

方針1:形状は、ウェアラブルを想定し小型軽量の手のひらサイズとする

方針2:環境発電方式は、発電量の大きい光発電と振動発電を採用する

方針3:無線通信方式は、近距離通信用と長距離通信用それぞれ採用する

小型メンテナンスフリー端末試作機と検証結果

前記開発方針から、BLEビーコンとSIGFOXの2機種的小型メンテナンスフリー端末試作機を開発した。試作機の概要と検証結果を以下に述べる。

(1) 試作機1 (BLEビーコン)

①仕様

主な仕様を表3に、ブロック図及び外観を図2及び図3に示す。基板は、電源基板・無線基板・センサー基板の3枚構成とした(図3 写真上)。蓄電デバイスである電気二重層コンデンサは、電源基板にオプションで搭載可能な構成とした(図3 写真下)。

環境発電で得られるエネルギーは、 μW ~ mW オーダーと微小であり、必要な時に安定した発電量を供給できないケースも考えられる。例えば、光発電の場合、屋外の日没後や屋内の消灯後に使用するケースである。

安定した電力量を供給するには、電気二重層コンデンサなどの蓄電デバイスとの併用が必要である。発電した余剰電力を蓄電デバイスに充電しておくことで、不足電力を補うためである。

表3 試作機1 [主な仕様]

項目	仕様
通信方式	BLE バージョン 4.2
発電方式	光発電
センサー	温度、加速度
外部インターフェース	接点入出力
蓄電デバイス	電気二重層コンデンサ

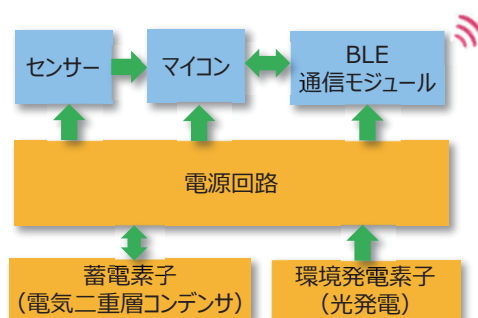


図2 試作機1 [ブロック図]

*2) LoRaは、米国およびその他の国におけるSemtech Corporation.の登録商標または商標です。

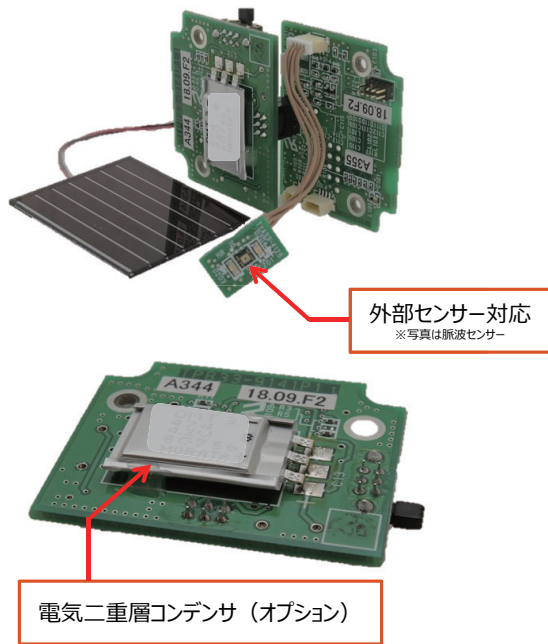


図3 試作機1 [外観]

②特徴

光発電素子は、屋内照度仕様のパナソニック製アモルファスシリコン太陽電池を採用した。

太陽電池の主な仕様を以下に示す。

- ・ 開放電圧 V_{oc} :5.0(V)
- ・ 短絡電流 I_{sc} :8.1(μA)
- ・ 外形寸法:38.0×12.5×1.1(mm)
- ・ 質量:2.2(g)

③検証結果

本素子で発電した電力を0.8Vから昇圧可能な電源回路で安定化させることで、環境発電による無線通信に成功した。また、電気二重層コンデンサ非搭載で動作することを確認した。その動作条件を以下に、測定環境を図4に示す。

- ・ 屋内照度(蛍光灯):800ルクス $typ^{*3)}$
- ・ BLEビーコン通信周期:10秒
- ・ 通信距離:約10m



図4 試作機1 [測定環境]

*3) 通常の使用条件でのおおよその値、代表値

(2) 試作機2 (SIGFOX 端末)

①仕様

試作機2の仕様を表4に、ブロック図及び外観を図5、図6に示す。振動発電素子はケース上面の内側(図6 写真上)に、光発電素子はケース上面外側に取り付ける構造(図6 写真下)とした。

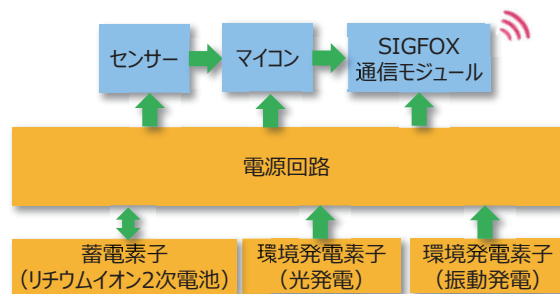


図5 試作機2 [ブロック図]

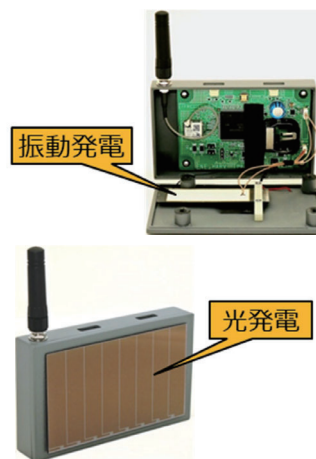


図6 試作機2 [外観]

②特徴

本試作機は、発電電力を更に安定化するため、二つの環境発電デバイスを搭載し、ハイブリッド発電させる構成とした。

表4 試作機2 [主な仕様]

項目	仕様
通信方式	SIGFOX
発電方式	光発電振動発電ハイブリッド
センサー	温度、加速度
外部インターフェース	接点入出力
蓄電デバイス	リチウムイオン2次電池

光発電素子は、先に説明の試作機1で採用したパナソニック製アモルファスシリコン太陽電池と同シリーズで発電容

量の大きいタイプを採用した。光発電素子の主な仕様を次に示す。

- ・ 開放電圧Voc:5.0(V)
- ・ 短絡電流Isc:96.7(μ A)
- ・ 外形寸法:96.7×56.7×1.1(mm)
- ・ 質量:15.6(g)

また、振動発電素子は、THRIVE製圧電素子を採用した。主な仕様を次に示す。

- ・ 出力電圧:15.0(Vpp)
- ・ 出力電流:40.0(μ A)
- ・ 外形寸法:25.0×12.0×0.23(mm)

光発電素子及び振動発電素子で発電した電力は、0.8Vから昇圧可能な電源回路により安定化させた。振動による発電電圧はプラス電圧とマイナス電圧の両極性となるため、昇圧回路の手前に整流回路を備える構成とした。

また、今回採用した発電素子の電力のみでは、SIGFOX通信に必要な電力を補うことが困難なため、蓄電デバイスとしてリチウムイオン2次電池を搭載した。

③検証結果

蓄電デバイスに、光発電で約40分間、振動発電で約110分間充電することにより、SIGFOX通信が可能であることを確認した。その動作条件を以下に、測定環境を図7に示す。

- ・ 屋内照度(蛍光灯):800ルクス typ
- ・ 振動強度:腕振り(周期:0.2秒 振幅:5cm)
- ・ SIGFOX通信周期:60分~120分
- ・ 通信距離:数十km(SIGFOXアクセスポイントまで)
- ・ SIGFOX通信1回分の充電時間:
光発電:約40分 振動発電:約110分



図7 試作機2 [測定環境]

試作機検証結果からの課題

BLEビーコン(試作機1)は、通信時間が数msecと短く、発電可能な条件下であれば、蓄電デバイス不要で通信可能であった。一方、SIGFOX(試作機2)は、BLEビーコンと比較して通信時間が数秒と約1,000倍長く、手のひらサイズ程度の環境発電量のみでは通信不可能であった。環境

発電のハイブリッド化や蓄電デバイスの併用により、各種低消費電力無線通信方式に適した電力を供給できるかが継続課題である。

まとめ

本稿では、著者らが取り組んでいる環境発電を利用したメンテナンスフリー無線技術実用化への取組みを述べた。IoT機器は、近年の低消費電力デバイスや低消費電力無線通信技術の進展により、ヘルスケアや医療分野、土木・建設現場や高所・危険個所に設置された設備の監視などの用途に活用が広がっている。環境発電技術は、2019年後半頃から、温度差を必要としない熱発電素子が発表されるなど、大きな進展により、IoT機器が更に普及するための一助になると考える。高効率環境発電技術と低消費電力無線通信技術を追求することにより、高性能なメンテナンスフリー無線機器の早期実用化に向けて今後も取り組んでいく。◆◆

参考文献

- 1) OKIプレスリリース、ネットワーク型「ゼロエナジー 超音波水位計」を販売開始
<https://www.oki.com/jp/press/2017/10/z17038.html>
- 2) 総務省:平成30年版 情報通信白書 第1部
<https://www.soumu.go.jp/johotsusintokei/whitepaper/ja/h30/pdf/index.html>
- 3) J.Paradiso, T.Starner:Energy Scavenging for Mobile and Wireless Electronics,Pervasive Computing, Jan-March 2005
- 4) 京セラコミュニケーションシステム:プレスリリース、IoTネットワーク「Sigfox」の人口カバー率、90%まで拡大
<https://www.kccs.co.jp/news/release/2018/1203/>

筆者紹介

高橋季之:Toshiyuki Takahashi. 株式会社沖電気コミュニケーションシステムズ 技術部
露木敬尉:Kei Tuyuki. 株式会社沖電気コミュニケーションシステムズ 技術部
森淳:Jun Mori. 株式会社沖電気コミュニケーションシステムズ 技術部