

ゼロエナジーゲートウェイ ～太陽光発電駆動のIoTゲートウェイで インフラ監視の導入を容易化～

久保 祐樹 橋爪 洋
依田 淳

高度経済成長期に建設された橋梁などのインフラ構造物の老朽化が進み、継続的な監視とメンテナンスが必要となるが、人手による点検コストの増大や専門知識をもつ技術者不足が課題となっている。また、地球温暖化による気候変動リスクが高まり、集中豪雨などの大規模な自然災害に備えた防災や減災の対策が必要となる。このため、人手不足解消や検査精度向上の観点からセンサー技術や無線ネットワーク技術を用いたモニタリングシステムが注目されている。

OKIではこれまでも、省電力の920MHz帯マルチホップ無線技術とセンサーデータの分析技術を組み合わせた電池駆動の無線加速度センサーユニットを商品化し、インフラ構造物の劣化状況を監視するモニタリングシステムの開発に取り組んできた。また、近年増加している集中豪雨による河川氾濫に対して、高精度な超音波水位計や水圧式水位計と太陽光発電機能を備えた危機管理型水位計を販売している。

モニタリングシステムでは、各センサーで計測したデータをインターネット経由でクラウドやサーバーに送信するゲートウェイが必要となる。しかし、従来のゲートウェイは商用電源を必要とし、現場に設置する際の電源の配線工事に多大な費用と期間を要していた。

そこで、OKIは、電源工事、通信配線工事が不要で設置容易性に優れた「ゼロエナジーゲートウェイ」（以下、ZE-GW）を開発した。本製品は、920MHz帯マルチホップ無線「SmartHop[®]*1）」とLTEによる無線通信機能を備えたIoTゲートウェイであり、太陽光発電駆動に対応することにより、屋外での設置容易性を実現した。

本稿ではZE-GWで開発した省電力技術と、ZE-GWを用いたインフラモニタリングの事例を紹介する。

ZE-GW を利用したモニタリングシステム

ZE-GWの外観を図1にZE-GWの諸元を表1に示す。図1に示すとおり、ZE-GWは、ゲートウェイ単体型に加えて、河川監視で多数実績のある超音波水位計機能、並びに水圧式水位計機能を一体化したタイプがあり、用途に応じて選

択可能である。どのタイプもIP65の防塵、防滴仕様であり、-20～60℃の動作温度範囲を実現している。



図1 ZE-GWの外観
(左:ゲートウェイ単体型、中:超音波水位計付、右:水圧式水位計付)

表1 ZE-GWの諸元

項目	仕様
通信機能	920MHz帯マルチホップ無線
	LTE-Cat. 1
電源	太陽光発電駆動
耐連続不日照	連続不日照9日間
動作温湿度範囲	-20～60℃、10～95%RH
防水・防塵	IP65
寸法	(W) 230x (D) 284x (H) 378mm
装置監視	装置内の温度、湿度監視
	バッテリー電圧監視

ZE-GWを利用したモニタリングシステムの構成を図2に示す。ZE-GWに接続可能なセンサーとして、無線加速度センサーユニットがある。無線加速度センサーユニットはインフラ構造物に設置し、対象の固有振動数や傾斜のデータを収集可能な電池駆動の装置である。ZE-GWと無線加速度センサーユニットは、920MHz帯マルチホップ無線「SmartHop」により、互いに中継して無線伝送可能なため、

*1) SmartHopは、沖電気工業株式会社の登録商標です。

広範囲のモニタリングシステムを柔軟に構築可能である。各センサーのデータは920MHz帯マルチホップ無線で親機となるZE-GWに集約され、LTE経由でクラウドへ送信される。クラウド上で、センサーデータの分析機能や結果に応じた警報を送出する仕組みを構築することにより、橋や道路などの社会インフラの管理者に必要な情報を提供する。

従来のゲートウェイは、小型パソコン相当の装置を利用することが多く、消費電力は数Wとなり、太陽光発電で動作させる場合には、大型の太陽光パネルと容量が大きく重量のある蓄電池を利用する必要があった。一方ZE-GWは、優れた省電力性能によって、165x150mmサイズの小型の太陽光パネルで、二次電池も含めて一体型の筐体に収まっている。このサイズでも動作時間は、通常の使用で9日間の連続不日照動作が可能である。これにより、屋外でも場所を問わず、容易に設置が可能となった。さらに、センサーを一体型としたZE-GWでは、より設置コストを削減可能である。これらZE-GWの特徴により、インフラモニタリングソリューションの導入コスト低減が見込める。

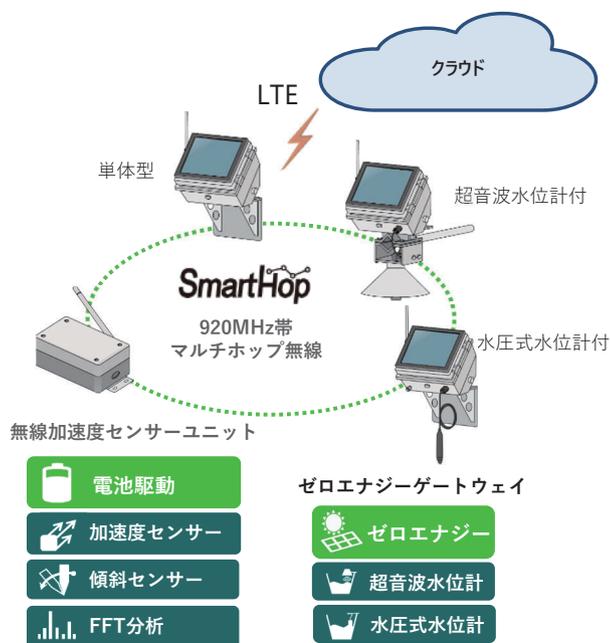


図2 ZE-GWのモニタリングシステム構成

ZE-GWの省電力技術

次にZE-GWを支える三つの低消費電力技術を述べる。

(1)「SmartHop」

ZE-GWでは、センサーデータを収集するための通信として「SmartHop」を利用している。「SmartHop」は920MHz帯無線を利用した無線モジュールであり、スリープルーター技術

と呼ばれる省電力技術¹⁾が使われている。スリープルーター技術は、大半の時間をスリープモードで維持し、間欠的にアクティブ状態になったタイミングで、送受信する技術である。本モジュールでは標準技術に加え、独自のスリープタイミング制御技術により、低遅延化と低消費電力化を実現している。また、「SmartHop」モジュールを使ったセンサー同士であれば、容易にネットワーク構築することができ、かつ機器認証や暗号化通信などのセキュリティ機能もモジュールレベルで提供しているため、安全にシステム拡張が可能である。

(2) エナジーハーベスティング技術

ZE-GWは太陽光発電を利用しているが、太陽光発電は天候によって発電量が左右されるため、雨天が続きシステム停止となるリスクがある。また、二次電池の特性として、曇天時の小さい電流では充電効率が下がるという問題もある。ZE-GWではこの問題に対して、小さい電流でも高効率で充電可能なキャパシターと、大容量の二次電池の二つを組み合わせることで解決している。図3のように晴天時は充電電流が高いため直接二次電池に充電し、曇天時の充電電流が小さい時は、いったんキャパシターを充電した後に、キャパシターから二次電池に充電することで、電池に対しての十分な充電電流を確保することで充電効率を高めている。図4に屋外で取得したZE-GWの充電電流と電池電圧のデータを示す。2021年1月22日～25日の期間は十分な日照を得られず、充電電流が平均10mA以下と小さいため直接二次電池には充電できないが、キャパシターを用いた充電により、その期間でも電池電圧は上昇し、充電効率を高めていることが分かる。

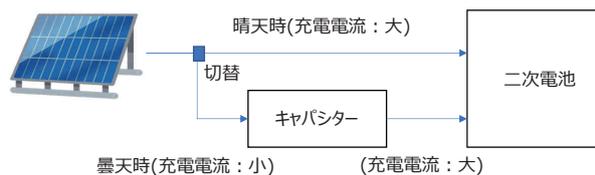


図3 高効率充電制御

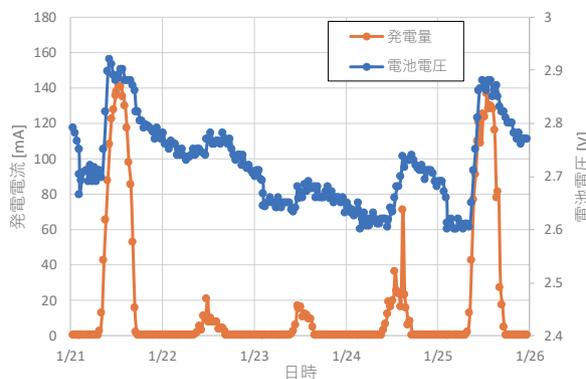


図4 充電電流と電池電圧の実証データ

(3) LTE通信制御

ZE-GWは、屋外からインターネット接続するためにLTEモジュールを搭載しているが、LTEモジュールは消費電力が高く、小型太陽光パネルでは常時LTEモジュールを動かすことは難しい。そのためクラウドへ通信が必要な時のみLTEモジュールの電源をいれるように適切に制御する必要がある。図5にLTE通信制御による省電力化の仕組みを図示する。ZE-GWは各種センサーから収集したデータをZE-GWでバッファし、一定量蓄積してからLTEモジュールを駆動し、まとめて通信することでLTE通信時間を短縮し電力消費を低減している。そのためZE-GWのバッファにより遅延が発生し、センサーが送信した緊急データ通知が遅れる恐れがある。そこで、ZE-GWはLTE通信のバッファ制御を外部からの通信によって制御可能なインターフェイスを用意している。つまり、センサーが緊急データを送信する場合は、緊急のセンシングデータ送信と同時に、ZE-GWのバッファ制御を解除するような制御データを送信する。そうすることで、ZE-GWは一時的に消費電力が増加するが、低遅延でクラウドへの通信を可能とし、緊急時の低遅延なデータ送信にも対応している。



図5 LTE通信制御による省電力化

ZE-GWを用いたインフラモニタリング事例

ZE-GWの長所が生かされるインフラモニタリング事例を以下に示す。

(1) 鉄道橋脚の傾斜・水位モニタリング(事例1)

図6に鉄道橋脚の傾斜モニタリングの実証実験の写真を示す。橋脚に超音波水位計付きZE-GWと傾斜センサーを設置している。鉄道橋では、梅雨時や台風などの増水時に水流が増すと、橋脚付近の河床が掘られる洗堀が発生し、橋脚の傾斜、倒壊といった災害につながる恐れがある。従来は、河川水位の監視として量水標と呼ばれる橋桁から水面までの距離を示す指標を目視観測することで運転を規制していた。ZE-GWを用いると、増水して危険な現地確認をすることなく、リアルタイムに水位や傾斜を監視可能である。鉄道橋脚の傾きモニタリングでは、10分ごとに

河川水位と橋脚傾斜を測定し、ZE-GWはそれらを1時間ごとにLTEでモニタリングシステムに送信する。河川水位が一定以上上昇すると警戒状態となり、測定頻度を2分ごとに短縮し、LTE通信制御機能によってモニタリングシステムへの送信遅延も短縮される。モニタリングシステムでは、各橋脚の水位や傾斜の状況がグラフ表示で可視化され、警戒状態になるとアラートメールを送信して管理者に通知可能である。



図6 鉄道橋脚の傾斜・水位モニタリング

(2) 高速道路橋の床版モニタリング(事例2)

道路橋の床版や桁のモニタリングに、加速度センサーを使用した振動周波数解析を用いる取組みがある²⁾。床版の劣化やコンクリート中の鋼材の腐食などで剛性が劣化すると、振動周波数が変化することが報告され、その変化を加速度センサーでモニタリングしている。道路橋モニタリングでも、設置時の電源敷設工事は課題に挙げられ、ZE-GWを使うことでこの課題に対応可能である。図7はモニタリングシステムの可視化画面であり、道路橋に設置したセンサーを地図上から選択し、指定期間のスペクトログラムを確認でき長期にわたる周波数の変動を確認可能である。道路橋モニタリングの実証では、測定期間中に台風による停電が発生し、商用電源を用いたゲートウェイではデータの欠損が発生した。一方、ZE-GWは停電期間中も携帯回線は接続可能であったため、継続的なデータ収集が可能であった。このため、地震や台風などの災害時に、道路橋の損傷具合の即時把握にも有効である。道路橋のモニタリングには、加速度センサー以外に、腐食センサー、歪(ひずみ)センサーを用いた事例もあり、ZE-GWは多種のセンサーを組み合わせたモニタリングにも対応可能である。



図7 道路橋モニタリング

(3) 法面傾斜モニタリング(事例3)

図8は豪雨による地すべりにより崩壊した法面(のりめん)に傾斜センサーを設置した事例である。そうした現場にZE-GWと傾斜センサーを設置し、法面の変化をいち早く検知することにより、安全に避難誘導を行うことが減災の助けとなる。この現場ではカメラによる監視も行っていましたが、夜間は撮影が難しく、夜間でも対応可能な傾斜センサーによるモニタリングを行った。法面では、監視対象が面的に広い範囲となるが、傾斜情報のような小さいサイズのデータであれば数十か所の同時測定が可能であり、「SmartHop」のマルチホップ通信を利用して、センサーを多数設置することでより広範囲な法面の状況把握が可能となる。



図8 法面傾斜モニタリング

将来展望

ZE-GWの三つの事例を紹介したが、インフラモニタリングでは、センサーデータだけでなく画像による現場の状況確認の要望がある。イメージセンサーは他のセンサーに比べて消費電力が大きく、災害対策に用いるには夜間撮影が必要になるなどの技術課題がある。これら課題に対して、高感度なイメージセンサーの採用や、低消費電力な画像圧縮技術を備えたカメラセンサー付きZE-GWを開発して

いく予定である。また、ユースケースの拡大に向けて、風向・風速・雨量などの電池駆動可能なセンサーを拡充し、監視精度の向上のために、センサーとサーバー間で連携した高度なモニタリングシステムの実現を目指す。◆◆

参考文献

- 1) 久保祐樹、柳原健太郎、野崎正典:無線センサネットワークの省電力化技術、OKIテクニカルレビュー第214号、Vol.76、No.1、pp.32-35、2009年4月
- 2) 野崎正典、柳原健太郎、福井潔:無線加速度センサーを用いた橋梁モニタリングシステムの実証実験、OKIテクニカルレビュー第229号、Vol.84、No.1、pp.12-15、2017年5月

筆者紹介

久保祐樹:Yuki Kubo. イノベーション推進センター ネットワーク技術研究開発部

橋爪洋:Hiroshi Hashizume. ソリューションシステム事業本部 IoTプラットフォーム事業部 スマートコミュニケーションシステム部

依田淳:Atsushi Yoda. 静岡沖電気株式会社 技術部