

インフラモニタリングソリューション ～デジタル変革による建設/インフラの安全と生産性向上～

山本 剛司 渡辺 孝弘 山道 昇
稲葉 稔智 寺山 知幸

OKIは、社会インフラシステム/情報通信システムの領域で長年センシング技術やネットワーク技術を培ってきた。これらの技術とAI/機械学習などのデータ処理技術を活用し、老朽化対策のための費用増大が予測されるインフラ構造物・設備の維持管理現場や生産性・安全性の向上が求められる建設現場で、運用条件の異なる現場に合わせて、段階的かつ効率的にモニタリングを実現する「インフラモニタリングソリューション」¹⁾を提供している。これらの現場では、まだ人手に依存する作業が多く、デジタル変革による効率化が重要視されている。

本稿では、OKIの建設/インフラ業界の安全と生産性向上に貢献することを目的に進めているインフラモニタリングに係る取組みを紹介する。

建設/インフラ分野でのモニタリング

建設/インフラ業界の工事現場では、暗い、騒音が大きいなどの環境の影響もあり他業界に比べて事故が多く、工事現場の安全性向上が継続的な課題となっている。その対策として作業員にICタグを装着させ、工事車両に装着したレーザーで作業員の接近を検知するシステムが開発されているが、装着不備による検知もれの問題がある。

OKIはこれまで、工事現場などの特殊な環境でも、検知対象や工事車両に特定の機器を装着せずに現場の状況を「見える化」するモーションマッピング技術を開発してきた。モーションマッピング技術は、画像によるセンシング情報と3D LiDARによるセンシング情報を融合することで、各々のセンサーの短所を補完し合い、高精度なセンシングを可能にする技術である²⁾。

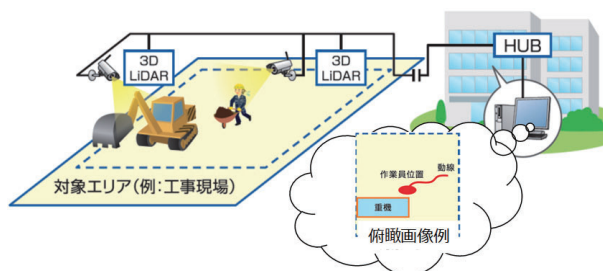


図1 モーションマッピング技術の機器構成概要

具体的には、図1に示すように、複数のカメラと3D LiDARにより現場をセンシングすることで対象エリア全体を真上から見たような俯瞰(ふかん)画像を表示することが可能となり、安全性が向上する。さらに、処理結果データを蓄積し分析することで、作業手順や作業環境の効率化が可能となる。

このモーションマッピング技術を利用してMotion Alert (可搬型エリア侵入監視システム)³⁾を開発した。Motion Alertは広範囲な建設現場の立入禁止エリアをリアルタイムに監視し、安全性向上(落下事故予防、接触事故予防、転落事故予防など)を支援するシステムである。

本システムの構成と動作概要を図2に示す。本システムは工事現場にセンサー装置と警報機を設置する。センサー装置は3D LiDARとカメラ4台から構成されたセンサーと、AIエッジコンピューターAE2100を内蔵した筐体(きょうたい)部分から構成され、360度方向・25m半径の範囲の監視が可能である。

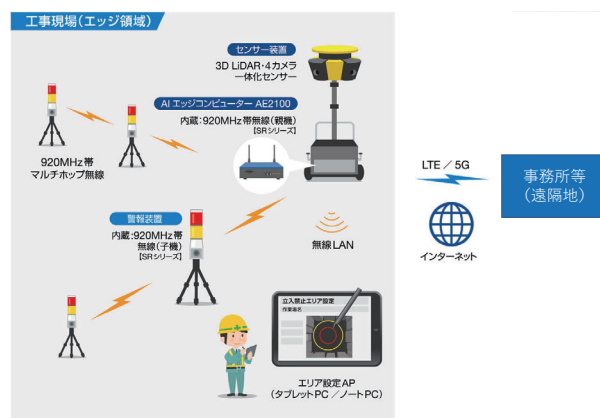


図2 Motion Alert のシステム構成と動作概要

図3に本システム動作画面イメージを示す。作業員は立入禁止エリアをタブレットPC上で設定すると、立入禁止エリアに侵入してくる人を検知し、警報機が鳴動して危険を知らせる。ただし、危険エリア内に侵入が許可された立入許可者は、ヘルメットの色を変える(例えば赤色)ことにより立入許可者か否かを判定することも可能である。警報機の鳴動は立入禁止エリア手前の範囲に人が侵入すると「注意」を、立入禁止エリア内に侵入すると「警告」を発報

する。これらの結果はLTE^{*1)}などの通信回線を通じて遠隔地でも監視可能である。

また、危険が検知されたときの映像は蓄積されているのでその映像を分析することで、危険行動回避などに利用される。

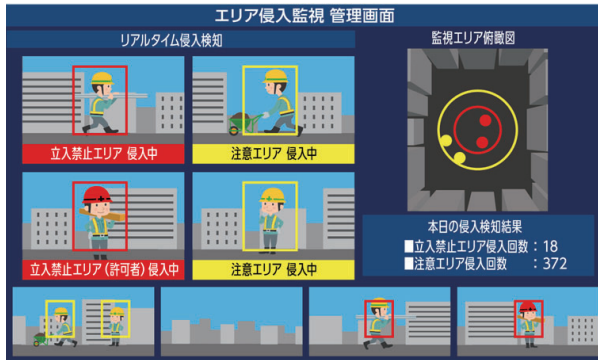


図3 Motion Alertの動作画面イメージ

ウェイ(GW)によりデータセンターまで収集したデータを届け、データ分析可能な図4のようなシステム構成が望ましい。表1に加速度センサーの主要諸元を示す。1日に数回の測定データの送信であれば、電池駆動で約5年の動作が可能であり、また、太陽光で発電/充電する写真3のGWを適応することで電源敷設工事が不要なシステムの構築が可能となる。

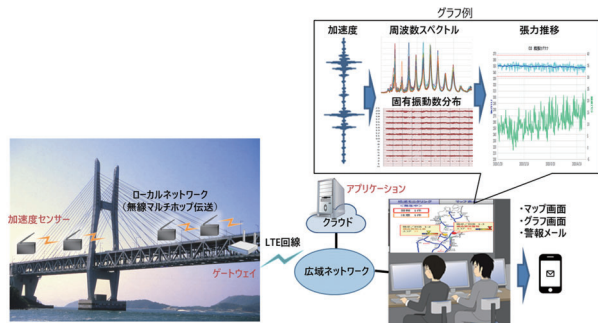


図4 モニタリングシステムの構成

道路橋モニタリング

道路維持管理業務を行う上で実用的なモニタリングシステムが注目されている。このモニタリングシステムを構成する要素技術は、以下の三つに分類される。

①センサー技術

加速度センサー、光ファイバーセンサー、画像センサー、変位計、水位計、腐食センサーなど

②伝送技術

光ファイバーやEthernet^{*2)}などの有線通信、920Mマルチホップ通信、LTEなどの無線通信

③データ分析技術

短期的な診断、中長期的なモニタリング、傾斜や変位異常時の警報発出など

加速度センサー(写真1)は、構造物の固有振動数、変位、傾斜の測定に光ファイバーセンサー(写真2)は構造物表面のひび割れ量の測定に使用される。

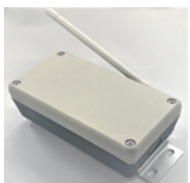


写真1 加速度センサー



写真2 光ファイバーセンサー

モニタリングで使用するセンサーは、橋桁や床版などに設置されることが多く、また、設置場所に必ずしも電源の敷設がないことがある。そのため導入時のコスト削減には、電源工事を必要としない電池駆動型のセンサーやゲート

*1) LTEは、欧州電気通信標準協会(ETSI)の登録商標です。 *2) Ethernetは、富士ゼロックス社の登録商標です。 *3) SmartHopは、OKIの登録商標です。

表1 加速度センサーの主要諸元

項目	仕様
規格	IEEE 802.15.4g準拠、ARIB STD-T108準拠
周波数	920MHz帯(922.3MHz~928.1MHz)
チャンネル	33,34ch~59,60ch(2単位チャンネルの同時使用)
プロトコル	無線マルチホップネットワーク(SmartHop [®] SR仕様)
アンテナ	防水スリープアンテナ
加速度	計測軸:3軸, サンプリング:125Hz, レンジ:±2G
傾斜	計測方向:2方向, 分解能:0.01°
エッジ分析	平均化周波数スペクトル, ピーク周波数分布
使用電源	円筒型リチウム電池CR17450 2本バック
温湿度範囲	-20~60°C, 25~85%RH 結露無き事



写真3 ゲートウェイ(電源なし)

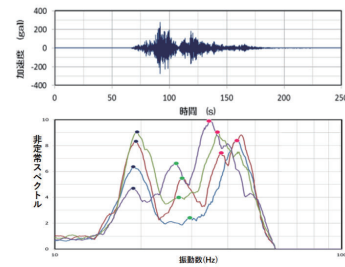


図5 加速度と固有振動数算出

加速度センサーで収集した加速度データは、GW経由でデータセンター側に蓄積し、図5に示すように橋梁の固有振動数の算出などに利用され、これらのデータは図6の監視画面のように各センサーを設置した箇所の構造物の分析に利用可能である。

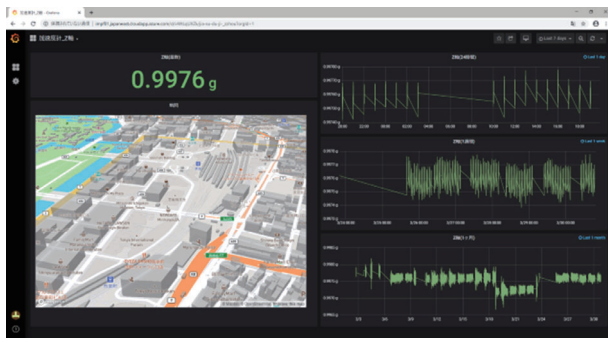


図6 監視画面

鉄道橋梁モニタリング

OKIは、ジェイアール西日本コンサルタンツ殿（以下、JRNC）と鉄道橋梁モニタリングに取り組んでいる。

近年、多発する大型台風や記録的な大雨により、日本各地で大規模な土砂災害が増加傾向にあり、鉄道事業者は、IoTやAI技術を活用した自然災害リスクへの予測と早期対応が求められている。従来、鉄道を安全に運行するため、河川に架かる橋脚の洗堀（水流により橋脚の土台が掘り下げられてしまう現象）を主な原因とした橋脚の傾きや水位の監視が必須である。しかし、傾き監視や水位測定のためのセンサー機器設置コストや、通信線及び電源線の配線コストなどからモニタリングシステムの導入が困難であるという問題があり、人手による点検に頼らざるを得ない状況である。JR西日本管内だけでも200か所以上ある橋梁に対して災害発生時の目視による状況確認や夜間の保守・点検作業時の点検作業は、作業員の安全確保に加え、社会インフラである鉄道の安全運行にも大きな課題であった。

本課題の解決に向け、両社はこれまでIoT技術を活用した橋脚の傾き量の取得、橋脚の異常検知を自動化する実証実験に取り組んできた。橋脚の変動量をJRNCの実績・ノウハウ、OKIの920MHz帯マルチホップ無線技術を活用することで、橋脚の傾き変動観測を遠隔で監視することを可能とした。

OKIの無線傾斜センサーで橋脚の河川方向傾斜角、河川垂直方向傾斜角を常時収集し、920MHz帯マルチホップ無線及びキャリア回線を使いクラウドサーバーに送信する。また、太陽光発電型の超音波水位計を使い、河川の水位も同時に測定することが可能である。これらのデータを「見える化」することで遠隔での状況監視が可能となり、設置開始時点より現在までの橋脚の傾きの変動にどのような変化が起きたかを常時把握可能とした（図7）。



図7 鉄道橋梁モニタリング

鉄道橋の河床モニタリング

OKIは、東日本旅客鉄道株式会社殿（以下、JR東日本）、FPV Robotics株式会社殿と鉄道橋の河床モニタリングに取り組んでいる。河川に架かる鉄道橋梁の維持管理のために行われる橋脚周辺の河床状況調査は、作業員が橋梁の上から錘（おもり）の付いたロープを水底まで下ろし、橋脚周りの橋梁から河底までの距離を測り、川底の地形変化を捕捉する方法が取られることが多い。この調査方法は、人手や時間、安全確保にコストがかかるほか、川の流力が速い場合には錘やロープが流され、精度の高いデータを短時間に集めることが難しいなどの問題がある。

OKIグループではこれまで、これらの課題の解決を目指し、小型ラジコンボートにMNB (multi narrow beam測深装置部、重心動揺計、GNSS (Global Navigation Satellite System/全球測位衛星システム)などの機器を一体化し搭載した測深機「CARPHIN V」⁴⁾の開発に取り組んできた。「CARPHIN V」は、有人測量船でのMNB測深が難しい浅瀬や小規模河川などの深浅測量を短時間に行い水中の地形を3次元データで表示（図8）することが可能で、河川橋脚周辺の河床状況調査に適している。

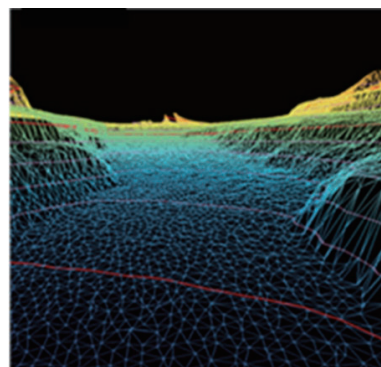


図8 3次元データ表示例（ソフトウェア加工後）

「CARPHIN air」は「CARPHIN V」の測深装置部を更に小型化し水上空両用ドローンと一体化した空飛ぶ水中測深装置であり、JR東日本モビリティ変革コンソーシアム⁵⁾で実証実験を進めている。

ドローンを活用することにより、測深対象箇所へのアプローチ(到達)が容易になるとともに、調査のための飛行、着水、測定対象範囲の水上航行と測深、離水、着陸までの一連のプロセスを自動制御可能なため、作業の効率化と安全性の向上に寄与する(図9)。

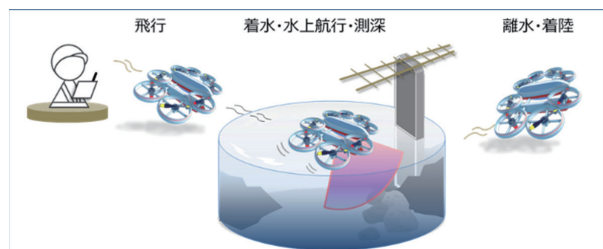


図9 CARPHIN air 動作イメージ

今後の展開

OKIはこれまでもインフラモニタリングに関連するさまざまな商品・サービスを提供している。今後更にお客様との共創によるPoC(Proof of Concept:概念検証)を通して、さまざまなフィールド実験や試行に取り組み、順次商品・サービスを拡充していく。◆◆

参考文献

- 1) OKIインフラモニタリングソリューション
https://www.oki.com/jp/infra_monitoring/
- 2) 渡辺孝弘、塚本明利:無画像センサーとLiDARによるセンシング融合技術を用いた現場監視ソリューション、OKIテクニカルレビュー 第230号、Vol.84 No.2、pp.14-17、2017年12月
- 3) OKI Motion Alert
https://www.oki.com/jp/infra_monitoring/motionalert/
- 4) OKI CARPHIN V
https://www.oki.com/jp/sensing/uw_sound/carphinV/
- 5) JR東日本モビリティ変革コンソーシアム
<https://www.jreast.co.jp/jremic/>

● 筆者紹介

山本剛司:Takeshi Yamamoto. ソリューションシステム事業本部 社会インフラソリューション事業部 ビジネス開発第2部
渡辺孝弘:Takahiro Watanabe. ソリューションシステム事業本部 社会インフラソリューション事業部 ビジネス開発第2部

山道昇:Noboru Yamamichi. ソリューションシステム事業本部 社会インフラソリューション事業部 ビジネス開発第2部
稲葉稔智:Toshinori Inaba. ソリューションシステム事業本部 社会インフラソリューション事業部 ビジネス開発第2部
寺山知幸:Tomiyuki Terayama. ソリューションシステム事業本部 社会インフラソリューション事業部 ビジネス開発第2部

TIPS 【基本用語解説】

LiDAR(Light Detection and Ranging)

レーザー光により対象の距離や方向を3次的に測定するセンサー。

斜張橋

橋の形式の1つで、塔から斜めに張ったケーブルを橋桁に直接つなぎ支える構造のもの。

920MHz帯

日本では915.9~929.7MHzを使用する周波数帯で、2012年7月から利用可能。無線LANなどで主に使われている2.4GHz帯と比較して電波到達性が高く、障害物があっても回り込んで届くため、ビルや工場など障害物の多い場所や、屋外での利用にも向いている。海外ではサブギガ帯と呼ばれ、同様の周波数帯がスマートメーターなどに広く利用されている。

マルチホップ無線

複数の無線装置を経由して、バケツリレーのようにデータを伝送する通信方式。親機から直接電波が届かなくても近隣の子機を経由してネットワークに接続可能なため、広いエリアの無線ネットワークを低コストで構築できる。また、電波状態の良い経路を自動的に選択して通信するため、一時的な電波障害に強く信頼性に優れている。

無線傾斜センサー

OKIの無線加速度センサーを傾斜センサーとして利用したもので、3軸加速度センサーに与えられる重力成分を合成し、傾斜角と傾斜方向を算出する。橋梁部材、斜面、支柱などの傾きの変化を監視が可能。

MNB(multi narrow beam)

船の左右両舷方向に扇状の音波を放射し、前後方向に指向性の鋭い多数の受波ビームにより反射音を受信することで、広い範囲の水深を測定する深浅測量方式。