

# 次世代インフラ監視システム（OKIPPA<sup>®</sup>104）の開発と実証 Development and demonstration of next generation infrastructure monitoring system (OKIPPA104)

鶴田 大毅\*

永山 智之\*

Tomotaka Tsuruta

Tomoyuki Nagayama

## 要 約

施工時や維持管理時において、適確な現場巡視点検が求められているが、生産年齢層及び建設技術者の減少が懸念されることから、点検業務の省力化が求められている。このため、現場の変状の有無を“手軽で安価”に発見し、業務の省力化を図る、『バラまき型』の監視システムを構築することを目的とし、「傾斜監視クラウドシステム（OKIPPA104）」を開発した。

本システムのデータ転送は、省電力広域無線通信 LPWA の Sigfox（シグフォックス）を採用したため、設備の簡素化及び低コスト化が可能となり、現場への導入ハードルを大幅に低減することができる。各種の実証実験の結果、実際の施工現場にて確認試験を実施し、本システムの確実な稼働を確認することができた。さらに、ドローンの自律飛行システムとのサービス連携や、本システムの機能を活用して開発した「OKIPPA 伸縮計」についても確認試験により稼働を確認できたことで、利用用途の拡大及び監視項目の追加が可能となった。

## 目 次

- § 1. はじめに
- § 2. 本システムの概要
- § 3. 実際の施工現場における確認試験
- § 4. ドローンの自律飛行システムとの連携
- § 5. 本システムの機能を応用した伸縮計の開発
- § 6. 導入事例
- § 7. まとめと今後の展開

## § 1. はじめに

これまでに構築されてきた膨大な社会インフラは適切な点検及び評価による維持管理が必須であるが、安心安全な財産として次世代に継承するためには、多大な人手とコストが必要となることが課題である。また、生産層の減少が想定される中、効率的な維持管理を進めるためには、その業務の担い手不足を解消すべく、可能な範囲で「ヒト」から「キカイ」に業務を置き換え、業務の省力化を図ることが課題である。

この課題を解決する一助となることを目的とし、センサボックスだけで始められる、“安価で手軽”な「傾斜監視クラウドシステム OKIPPA104」を開発した。

## § 2. 本システムの概要

本システムは、センサボックスだけで始められる傾斜監視クラウドシステム（図-1）で、巡視による目視点検が困難な箇所のうち、傾斜角度の変化により変状を把握したい箇所の監視・点検に利用するものである。

データを転送する無線通信は、2017年2月末から日本国内での提供が開始された省電力広域無線通信 LPWA（Low Power Wide Area）の Sigfox（シグフォックス、以下「Sigfox」とする）を採用した。これにより、自営の基地局及び中継器及び配線が不要で、かつ省電力であるため、1時間に1回の計測及び通信の場合、内蔵電池で2年間稼働が可能である。従来の監視システムと比較し（図-2）、設備の簡素化が実現し、現場への導入ハードルを極力下げることができた。



図-1 本システムの概略

2-1 センサボックスの仕様と計測項目

本システムのセンサボックスの外観を写真-1 (左), センサボックスの仕様を表-1, 本システムの主な計測項目を表-2 に示す。

各計測データを Sigfox を用いてクラウドサーバへ送信し, クラウドサーバの Web 画面にて可視化させることにより監視システムを確立している。また, Sigfox の採用により, 自営の基地局及び中継器, 通信や給電のための配線を設置する必要がなく, まさに現場ではセンサボックスを設置し電源を入れるだけで, 監視が始められる。さらに Sigfox は省電力の無線通信であることから, センサボックスの内蔵電池で2年間 (1時間/回通信する場合) 稼働が可能である。

センサボックスの設置方法は, 2つのブラインドカバーの中にある固定用のビス穴を利用し, M3~4 程度のビス及びプラグアンカーで確実な固定が可能である (写真-1 (右))。

ここで, センサボックス内の加速度センサ3軸方向 (x, y, z) の傾斜角度  $\theta, \psi, \phi$  を算出する計算式を下記に示す。

図-3 のように基準となる軸 (x 軸と y 軸は水平線, z 軸は重力ベクトル) を設定し, これらと加速度センサの各軸との傾斜角度 ( $\theta, \psi, \phi$ ) を個別に計算する<sup>1)</sup>。

(1)  $\theta$  : 水平線と加速度センサの x 軸との角度

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{A_{X.out}}{\sqrt{A_{Y.out}^2 + A_{Z.out}^2}}\right)$$

(2)  $\psi$  : 水平線と加速度センサの y 軸との角度

$$\psi = \tan^{-1}\left(\frac{A_{Y.out}}{\sqrt{A_{X.out}^2 + A_{Z.out}^2}}\right)$$

(3)  $\phi$  : 重力ベクトルと加速度センサの z 軸との角度

$$\phi = \tan^{-1}\left(\frac{\sqrt{A_{X.out}^2 + A_{Y.out}^2}}{A_{Z.out}}\right)$$

ここで,

$A_{X.out}$  : 重力加速度の x 軸成分

$A_{Y.out}$  : " y 軸成分

$A_{Z.out}$  : " z 軸成分

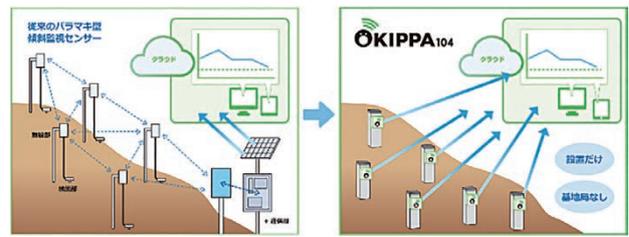


図-2 従来の監視システムと本システムとの比較



写真-1 センサボックスの外観と固定用ビス穴

表-1 センサボックスの仕様

項目	内容
サイズ	10 cm × 10 cm × 4 cm
重量	約 300 g
ボックス仕様	防水型 IP67 (IEC 規格)
使用可能温度	-10~60℃
使用可能湿度	20~80% RH (結露なきこと)

表-2 本システムの主な計測項目

項目	内容
傾斜計測	分解能 : 0.06° 精度 : 約 0.1 度 測定範囲 : ±180° (3 軸) 通信間隔 : 1 時間に 1 回 (標準)
衝撃検知	2 G~16 G (ノック程度~)
GPS 測位	概略測位のみ 精度 : 数 m 計測間隔 : 1 週間に 1 回 (標準)

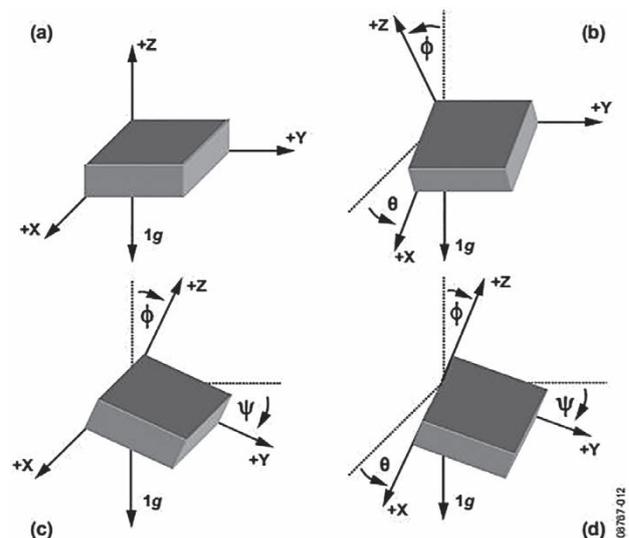


図-3 加速度センサの3軸と傾斜角度の関係

## 2-2 省電力広域無線通信 LPWA : Sigfox

本システムにおけるセンサボックスからのデータ転送の無線通信は Sigfox を採用した。本通信は、「IoT 向けの無線通信」として通信事業者から提供されており、言わば「公衆回線」のように利用でき、自営の基地局及び中継器の設置及び保守が不要となるため、導入時及び維持管理時の省力化を図ることができる。

## 2-3 管理画面

本システムでは、センサボックスで計測された各種のデータを Sigfox よりクラウドサーバに転送し、必要な演算を行ったうえで Web 上に構築した管理画面 (図-4) にて可視化したグラフやデータのダウンロード、管理閾値や計測・通信の設定変更等が可能である。

また、管理画面の構成は、閲覧者が計測データを 1 画面で即時確認出来るよう配慮した。

### (1) 傾斜角度の差分グラフ

センサボックスを設置した後、管理画面上で初期値を設定し、3 軸の傾斜角度 ( $\theta$ ,  $\psi$ ,  $\phi$ ) の差分を表示して変状を確認する (図-5)。その他、電池電圧や受信信号強度等の状況を表示することができ、各種の計測データは CSV 等でダウンロードが可能である。

### (2) センサボックスの設置位置

センサボックスの設置位置の把握や誤設置を防止するため、GPS センサを用いて位置情報を取得し、GoogleMap にプロットした状態で確認する (図-6)。

なお、本システムでは、「極めて簡便なシステムの実現」であり、設置時や維持管理時の作業手間や労力を極力縮減可能なシステムとする開発方針とした。この方針から、GPS 情報を利用して動態観測を実施するためには、膨大なデータを無線通信する相当量の電力を給電する配線が必須で、設備が煩雑となることから、GPS センサによる動態観測は実施しないこととした。

### (3) センサボックスの姿勢表示

現状のセンサボックスの設置状態を表示した画面により、現時点での姿勢を視覚的に確認することができる (図-7)。

### (4) 本システムの設定変更操作

悪天候予測時などに傾斜測定周期を短くしたい場合、また、利用用途に応じ衝撃検知閾値を変更したい場合には、管理画面から遠隔操作で設定変更することができる (図-8)。

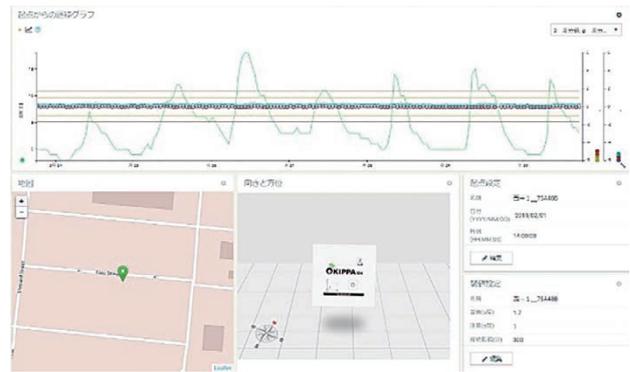


図-4 管理画面の例

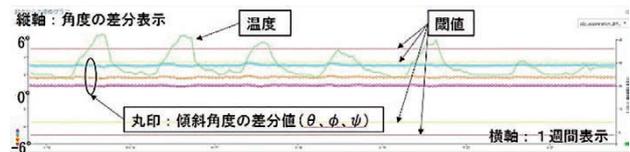


図-5 傾斜角度の差分グラフの例

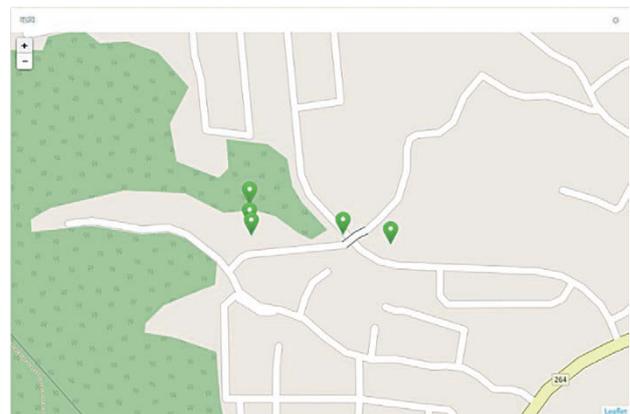


図-6 センサボックスの設置位置表示



図-7 センサボックスの姿勢表示

### §3. 実際の施工現場における確認試験

各種の実証実験によって本システムの稼働を確認できたため、実際の施工現場において斜面監視の確認試験を行った。当該現場の斜面部は降雨中及び降雨後に地すべりが想定されるため、点検重点箇所（供用中の道路や工用道路の路肩等）にセンサボックスを設置し、常時監視を実施した（図-9）。

実施場所：地すべり想定地域における切土施工箇所  
 実施期間：2018年5月中旬～2019年3月末  
 実施個数：27か所

また、実際の変位量を把握するために、光波測距儀による測量を実施し、得られた座標値と本システムの傾斜角度の計測データを比較した（表-3）。

この結果、本システムの計測データ（傾斜角度）と変位量（水平距離や標高）は直接的に把握できないものの、変状が発生した箇所では傾斜角度の値が変動するため、本システムによっても変状の発生箇所を類推することが可能なことがわかった。

### §4. ドローン自律飛行システムとの連携

本システムの閾値超過時に発報するアラート通知の内容のGPS情報を活用し、ドローンの自律飛行システムとのサービス連携を構築した（図-10、写真-2）。

下記にドローンで視認代行の活用による想定事例と効果を示す。

【活用想定事例】

- ・巡視による目視点検が困難な場所
- ・災害発生時、被災箇所への道路が通行不可能な場合

【想定される効果】

①遠隔で確認できる

点検員が現地に行かなくても、ドローンからの映像で状況を確認することが可能となる。

②ドローンによる飛行及び撮影が容易

本システムのGPSデータを基に、事前に飛行ルートと撮影パターンを設定しているため、飛行にかかる準備時間が短縮され、自律飛行のため運転操作が容易である。

③迅速な情報共有が可能

ドローンで撮影した映像をクラウドサーバへ転送し複数個所で閲覧が可能となる。

### §5. 本システムの機能を応用した伸縮計の開発

本システムの機能を応用し、地すべり部の地割れやコンクリートのひび割れ等の経時変化を常時監視できる「OKIPPA伸縮計」を開発した（写真-3、図-11）。

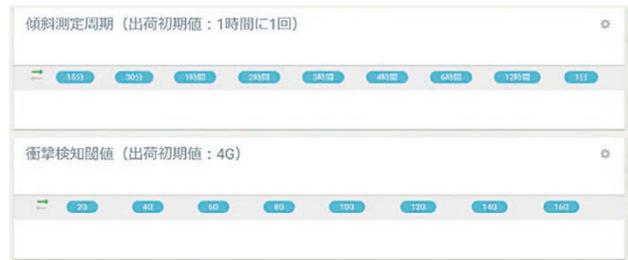


図-8 本システムの設定変更操作画面

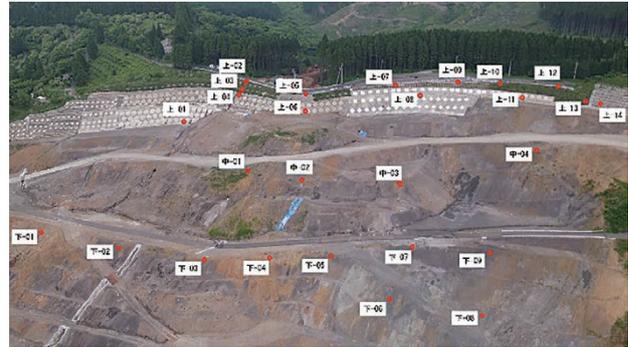


図-9 確認試験における配置図

表-3 本システムと座標測量との比較 (抜粋)

測点名	傾斜角度 (※)	変位量		変状の有無
		水平距離	標高	
No.5	0.14°	2 mm	-1 mm	無
No.9	0.95°	46 mm	-49 mm	有
No.20	1.58°	81 mm	-23 mm	有

※傾斜角度：想定地すべり方向に対する傾斜角度

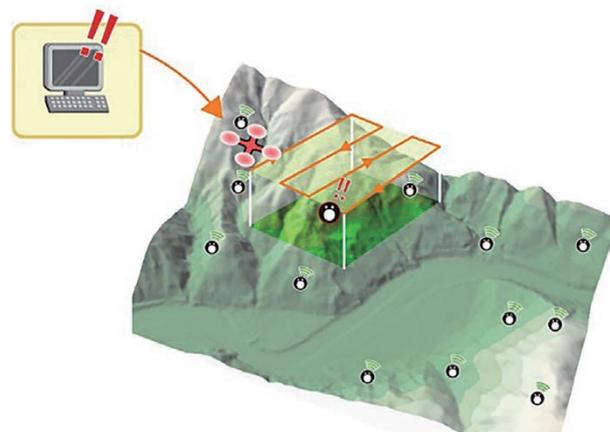


図-10 ドローン自律飛行システムとの連携イメージ

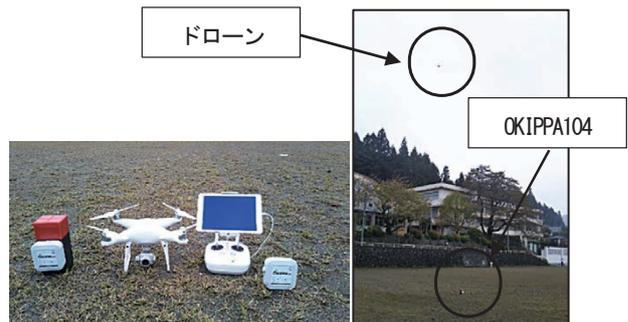


写真-2 ドローン自律飛行システムとの確認試験状況

センサボックスをワイヤーの巻取り機能を持ったプーリーと連動させることで、ワイヤーが引き出されたことによって回転するセンサボックスの回転角を計測し、ワイヤーの引き出し量に換算する機構とした(表-4)。

下記の対象物の常時監視での活用を想定している。

【活用想定事例】

- ・コンクリート構造物のひび割れ幅
- ・地すべり部の地割れの開き
- ・擁壁の施工目地
- ・橋梁の遊間部等の開き量

また、本システムと同様に、1時間に1回通信する場合、センサボックスの内蔵電池により2年間稼働できる。

本技術により想定される効果は下記の通りである。

【想定される効果】

①低コスト化

無線通信でデータ転送する場合、従来技術では基地局及び電源設備等のために多大なコストが必要であったが、本技術ではそれらを不要とすることができた。

②省力化

これまでは数か月に1度現場へ行き、データ回収を行っていた手間を削減できることで、事務所にいながらにしてインフラ施設の常時監視の省力化が可能となる(図-12)。

なお、本技術は特許出願中である。

§6. 導入事例

「国土交通省大臣官房技術調査課 i-Construction 推進コンソーシアム事務局技術開発・導入WG」で行なわれた「新技術の実証マッチング」において、九州地方整備局宮崎河川国道事務所より出されたニーズの「斜面の安定性を確認する技術」に対する新技術の募集があった。これに対し、本システムが試行導入の対象技術と選定され、2018年5月より試行導入されている(写真-4)

また、その他の事例については表-5, 6 に示す。

§7. まとめと今後の展開

実際の施工現場において、本システム及び本システムの機能を応用した OKIPPA 伸縮計、ドローンの自律飛行システムとのサービス連携について、確実に稼働することが確認できた。

今後、本システムを活用することで、施工現場における省力化を図るだけでなく、供用中のインフラ監視に対する導入ハードルを下げることをコンセプトとする OKIPPA シリーズとして、インフラ施設の監視ソリューションを追加していく。

さらには数々の計測実績を重ねながら、地盤や気象などの関連データと AI を掛け合わせ、有機的なインフラ点検(施工中から供用後)の可能性を追求していく。



写真-3 OKIPPA 伸縮計の確認試験状況

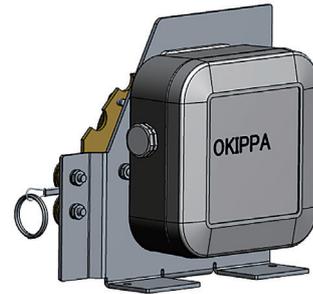


図-11 OKIPPA 伸縮計の量産型 (イメージ)

表-4 OKIPPA 伸縮計の仕様

項目	内容
サイズ	145 mm × 132 mm × 88 mm
重量	約 1.1 kg
精度	約 0.1 mm
ワイヤー長	300 mm (※)

※インバー線により、30 m まで延長可能

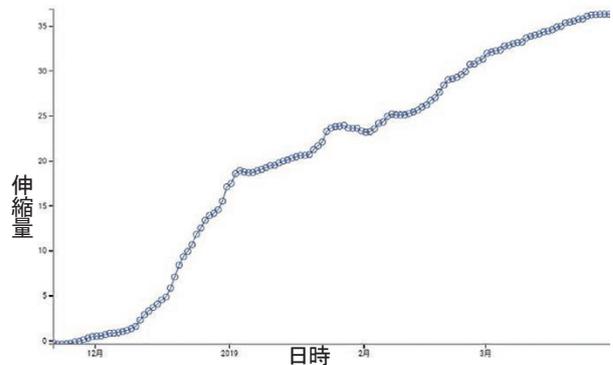


図-12 OKIPPA 伸縮計の実証実験結果



写真-4 試行導入の現場の状況

本システムがCIM (Construction Information Modeling/Management) と同様に、インフラ施設のライフサイクル全体を見通した情報マネジメントや情報の見える化に寄与できることを目指すとともに、インフラ施設を網羅的に監視できる“手軽で安価”な『バラまき型』の監視システムが、従来型の詳細な監視システムの導入箇所を顕在化し効率的に選定するシステムとなることで、安全な建設事業の省力化に貢献していくことを目指す。

参考文献

- 1) Christopher J. Fisher：加速度センサーによる傾きの検出, Analog Devices, Inc., 2010.

表一5 主な導入事例【社内】

分類	内容
土木工事	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 土工事の切盛土の法面監視</li> <li>・ トンネル坑口上部の斜面監視</li> <li>・ 仮設土留めの傾斜監視</li> <li>・ 鉄道脇の法面監視</li> <li>・ トンネル低土被り部の掘削影響監視</li> </ul>
建築工事	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 仮設土留めの挙動監視</li> </ul>

表一6 主な導入事例【社外】

導入先	監視内容
国土交通省 地方自治体 鉄道事業者 建設コンサルタント 太陽光発電事業者	<ul style="list-style-type: none"> <li>・ 地すべり地の挙動監視</li> <li>・ 法面の挙動監視</li> <li>・ 河川内橋脚の挙動監視</li> <li>・ 防波堤の挙動監視</li> <li>・ 道路橋台の挙動監視</li> <li>・ 太陽光パネル架台の挙動監視</li> </ul>



参考写真一 設置状況 (土砂部)



参考写真二 設置状況 (コンクリート部)



参考写真三 設置状況 (仮設土留部)



参考写真四 設置状況 (太陽光パネル部)