



インフラ維持管理・更新等の
社会課題対応システム開発プロジェクト
センサシステム技術・イメージング技術・非破壊検査装置技術

インフラモニタリング技術

本プロジェクトで開発したモニタリングシステム、
非破壊検査装置を紹介する動画を
NEDO Channel(ネドチャンネル)に掲載しています。
http://www.nedo.go.jp/activities/ZZJP_100081.html



国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
ロボット・AI部

〒212-8554
神奈川県川崎市幸区大宮町 1310 ミューザ川崎セントラルタワー
TEL.044-520-5244 FAX.044-520-5243
<http://www.nedo.go.jp>



目次 CONTENTS

- はじめに 01
- NEDOインフラプロジェクトについて 02
- NEDOインフラプロジェクトへの期待 03
- 技術委員一覧 04
- プロジェクト概要 05

センサシステム技術

- 01:スーパーアコースティックセンサによる
橋梁センシングシステムの開発 07
 - 技術研究組合NMEMS技術研究機構
 - 株式会社東芝
 - 国立大学法人東京大学
 - 国立大学法人京都大学
- 02:フレキシブル面パターンセンサによる
橋梁センシングシステムの開発 11
 - 技術研究組合NMEMS技術研究機構
 - 国立研究開発法人産業技術総合研究所
 - 大日本印刷株式会社
- 03:道路付帯構造物傾斜センシングシステム
の開発 15
 - 技術研究組合NMEMS技術研究機構
 - 富士電機株式会社
- 04:法面変位センシングシステムの開発 19
 - 技術研究組合NMEMS技術研究機構
 - 三菱電機株式会社
- 05:無線通信ネットワーク共通プラット
フォームの開発 23
 - 技術研究組合NMEMS技術研究機構
 - 株式会社エヌ・ティ・ティ・データ
- 06:高耐久性パッケージング技術の開発 27
 - 技術研究組合NMEMS技術研究機構
 - 一般財団法人マイクロマシンセンター
 - 日本ガイシ株式会社
 - 大日本印刷株式会社
- 07:センサ端末同期用原子時計の研究開発 31
 - 技術研究組合NMEMS技術研究機構
 - 国立研究開発法人産業技術総合研究所
 - 株式会社リコー
 - 一般財団法人マイクロマシンセンター
 - 公立大学法人首都大学東京
 - 国立大学法人東京工業大学
 - 国立大学法人京都大学

- 08:ライフラインコアモニタリングシステム
の研究開発 35
 - 国立研究開発法人産業技術総合研究所
 - 一般財団法人マイクロマシンセンター
 - 明星電気株式会社
 - 沖電気工業株式会社
 - 高砂熱学工業株式会社

- 09:高信頼性センサによるインフラモニタ
リングシステムの研究開発 39
 - 横河電機株式会社

- 10:道路橋の維持管理及び防災・減災を目的
としたセンサシステムの研究開発 43
 - 日本電気株式会社
 - 一般財団法人首都高速道路技術センター

- 11:道路付帯構造物モニタリングシステム
開発 47
 - 株式会社日立製作所

イメージング技術

- 12:位相解析手法を用いたインフラ構造物用
画像計測システムの研究開発 51
 - 国立大学法人福井大学
 - ジェイアール西日本コンサルタンツ株式会社
 - 4Dセンサー株式会社
 - (株式会社共和電業)

- 13:道路構造物ひび割れモニタリングシステム
の研究開発 55
 - 首都高技術株式会社
 - 国立大学法人東北大学
 - 国立研究開発法人産業技術総合研究所

非破壊検査技術

- 14:超小型X線及び中性子センサを用いた
インフラ維持管理用非破壊検査装置開発 59
 - 株式会社日立パワーソリューションズ
 - 国立研究開発法人産業技術総合研究所
 - 国立大学法人静岡大学

- 15:大面積FP型イメージセンサによる
X線非破壊検査装置開発 63
 - 国立研究開発法人産業技術総合研究所

はじめに

インフラ維持管理・更新等の社会課題対応システム開発プロジェクト
プロジェクトマネージャー (PM)
(国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構)

安川 裕介



高度成長期以降に整備された橋・トンネルなどの社会インフラや石油プラントなどの産業インフラは、今後、建設後50年を経過するものが加速度的に増加するなど、老朽化に対する十分な資金と高度な維持管理の専門知識を有する人材の不足が大きな社会課題となっています。そのため、既存インフラの状態に応じて効果的かつ効率的な維持管理・更新等を図る必要があります。

これらの社会課題に対応するために、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) は、「インフラ維持管理・更新等の社会課題対応システム開発プロジェクト」において、既存インフラの状態に応じて効果的かつ効率的な維持管理・更新等を図るため、的確にインフラの状態を把握できるセンサシステム分野およびイメージング分野の技術開発及びインフラ維持管理用ロボット・非破壊検査装置の技術開発を行ってまいりました。このうち、ロボット技術開発分野は2014年度から2017年度の4年間の事業期間であり、昨年度発行の小冊子で開発成果を報告しています。センサシステム開発分野およびイメージング技術開発分野、非破壊検査装置開発分野については、2014年度から2018年度の5年間で事業期間となり、この度、本小冊子を発行いたしました。

本プロジェクトの推進体制は、安川がプロジェクトマネージャーとして全体統括を、油田教授にはプロジェクトリーダーとして技術指導役の役割分担といたしました。下山教授にはサブプロジェクトリーダーとしてセンサシステム開発分野の技術指導をお願いいたしました。また、有識者による技術委員会を設け、進捗報告会や現場実験において専門的な指導・助言を頂戴いたしました。

この冊子を通じて、今回開発した技術が社会に広く普及し、実際の現場で役に立つきっかけになればと思っております。

NEDO インフラプロジェクトについて

インフラ維持管理・更新等の社会課題対応システム開発プロジェクト
プロジェクトリーダー (PL)
(芝浦工業大学 SIT 総合研究所 客員教授)

油田 信一



高度成長期を中心に我が国に大量に構築された道路橋などのインフラ構造物や産業インフラは、建設後40年以上が経過して経年劣化が問題となっています。しかし、その老朽化に対応した十分な点検・維持を行うことは、財政的な理由、あるいは、人材不足により、どんどん難しくなっています。

本プロジェクトでは、この問題に対応してインフラ構造物の長寿命化を図ることを目指し、インフラ構造物を供用しながら、その健全度を的確に把握することを目標としています。そのため、

- ① MEMS技術等によるセンサを開発し、それを活用してインフラ構造物の状況を長期に渡って的確に知るためのモニタリングシステムの開発
- ② 橋梁等の大型構造物の画像を取得・処理することにより、構造物の振動の様子をモニタリングしたり、あるいは、点検時に得た画像から構成部材のひび割れや劣化を自動的に検出する、イメージング技術を用いたシステムの開発
- ③ 産業インフラとして重要な石油プラント等における配管の検査のための、ロボットに搭載可能な非破壊検査装置の開発

が進められてきました。

本プロジェクトでは「実現場で働く具体的なシステムの開発」を方針としてきました。そして、一般的な技術開発を行うことがプロジェクトの目的ではなく、社会で活用されるシステムを開発すること、また、センサやモニタリングシステムのみではなく、そのモニタリングシステムなどを用いて、維持管理を行う具体的な体制を作り上げ、しっかりと現場で役立つことを示すことまでをゴールとしました。このような具体的な実システム開発こそ、技術をどのように社会の問題の解決に使うかを示すものであり、その具体性こそが次の技術開発の基礎となる、これが本プロジェクトがとってきた基本的な立場です。

本冊子では、このポリシーで開発した成果をご覧いただければ幸いです。

NEDO インフラプロジェクトへの期待

インフラ維持管理・更新等の社会課題対応システム開発プロジェクト
サブプロジェクトリーダー（センサを活用したモニタリングシステム担当）
（東京大学 IRT機構 機構長／大学院情報理工学系研究科 教授）

下山 勲



老朽化するインフラ施設を効果的、効率的に劣化・損傷等を点検・診断するための技術が必要とされています。過去に経験のない程インフラの老朽化が進んでいるところについては、定期点検間もインフラ構造物及びその構成部材の状態を常時・継続的・網羅的に把握する必要性が高まっています。さらに、災害時に構造物の変状を即時に把握することや目視点検で確認困難箇所の状態を把握することも必要となってきました。

このためには、的確にインフラの状態を把握できる連続的なモニタリングシステムは有力な手段です。センサを活用したモニタリングシステムの普及のカギとなるポイントは、①構造物の状態を適確に把握するために必要なセンシング性能、②センサ自身で自己動作するための、低消費電力、自立電源、無線通信機能、③センサを長期メンテナンスフリーとするための耐久性、信頼性、④センサ設置容易性（小型化等）と考えられます。

プロジェクトの5年間の事業期間において、橋梁や道路付帯構造物、建造物等を対象として上記のポイントを満足したセンサ開発し、それを活用したモニタリングシステムを開発してきました。この結果、先進的なセンサデバイスの開発やセンサ端末が開発され、実証実験においても有効性が確認されつつあります。本冊子において、ご確認いただけますと幸いです。

今後、開発されたセンサシステムが広く使われ、社会の役に立つことに期待していません。

技術委員一覧

■センサシステム技術・イメージング技術

氏名	所属	役職
大和田 邦樹	一般社団法人次世代センサ協議会	専務理事
河西 龍彦	宮地エンジニアリング株式会社 千葉工場生産管理部	執行役員／部長
松田 浩	国立大学法人長崎大学 インフラ長寿命化センター	センター長
三田 彰	学校法人慶應義塾大学 理工学部 システムデザイン工学科	教授

■非破壊検査技術

氏名	所属	役職
大竹 淑恵	国立研究開発法人理化学研究所 光量子工学研究領域 (RAP)	中性子ビーム技術 開発チームリーダー
五内川 拓史	株式会社ユニファイ・リサーチ	代表取締役社長
菅野 重樹	学校法人早稲田大学 創造理工学部 総合機械工学科	教授／学部長
細田 祐司	一般社団法人日本ロボット学会	理事／事務局長

インフラ維持管理・更新等の社会課題対応 システム開発プロジェクト

プロジェクト概要

事業の目的

- 橋・トンネル等社会インフラや石油プラント等産業インフラは、今後、建設後50年を経過するものが加速度的に増加する等、それらの老朽化に対する十分な資金と高度な維持管理の専門知識を有する人材の不足が大きな社会課題となっています。そのため、既存インフラの状態に応じて効果的かつ効率的な維持管理・更新等を図る必要があります。また、近年増加している災害現場において、迅速な復旧のためには人の立ち入れない区域で緊急に調査を行う必要があります。
- 本事業では、的確かつ迅速にインフラや災害地域の状態を把握できるモニタリング技術(センサシステム技術、イメージング技術、高度計測評価技術)、点検・調査を行うロボット技術・非破壊検査技術・災害調査技術の開発を行いました。

研究開発の内容

①インフラ状態モニタリング用センサシステム開発 (※1)

インフラ構造物及びその構成部材の状態を常時・継続的・網羅的に把握するセンサシステム開発及びそのセンサシステムを用いたセンサネットワークシステムの構築と実証実験を行う。

②イメージング技術を用いたインフラ状態モニタリングシステム開発 (※1)

完全自動により取得データからひび割れ等を判別できるデータ処理手法、撮影時の画像ボケや位置ずれを補正でき平面のみならず、奥行き(3D)もわかる画像解析手法を開発し、実証する。

③インフラ維持管理用ロボット技術・非破壊検査装置開発

インフラ構造物周辺および災害現場で、人間の立入りが困難な箇所へ移動し、インフラの維持管理や災害調査に必要な情報を取得できるロボットの開発と実証実験を行う(※2)。また、これらのロボットに搭載可能な、小型の非破壊検査装置の開発と実証実験を行う(※1)。

プロジェクトの実施期間

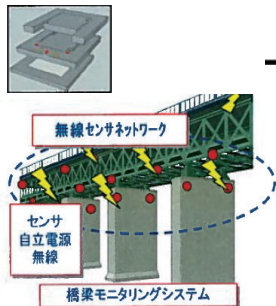
- ※1 平成26～30年度(5年間)
- ※2 平成26～29年度(4年間)または平成28～29年度(2年間)

成果適用のイメージ

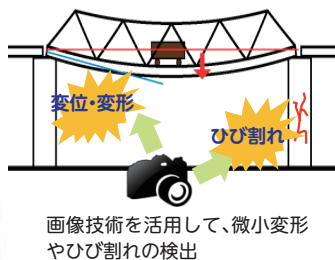
1 センサシステム技術

インフラモニタリングに最適なセンサシステム開発

- ・手のひらサイズ
- ・10年間ノーメンテナンス
- ・無電源、無線通信



2 画像を活用したイメージング技術



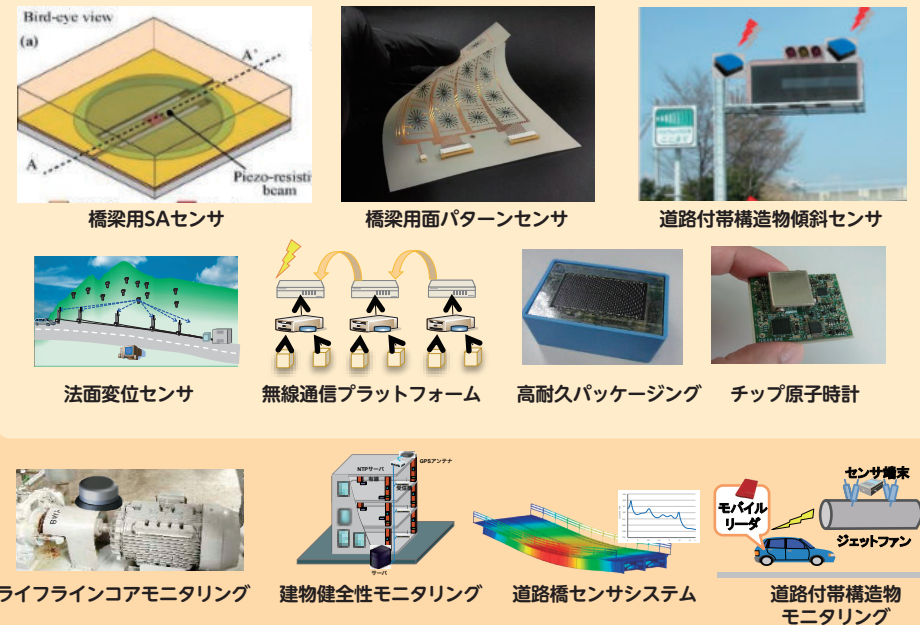
老朽化した社会インフラ
ロボットにより橋やダム
の点検を効率化、土砂・火山
災害の調査

3 ロボットによる点検

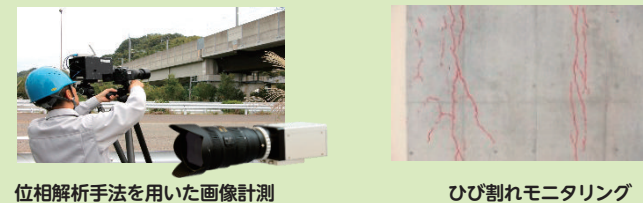


開発したシステム一覧

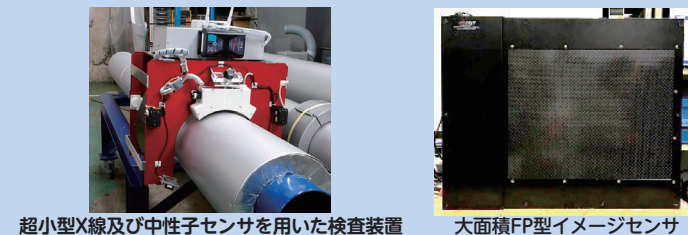
①インフラ状態モニタリング用センサシステム



②イメージング技術を用いたインフラ状態モニタリングシステム



③インフラ維持管理用非破壊検査装置



スーパーアコースティックセンサによる 橋梁センシングシステムの開発

委託先 技術研究組合NMEMS技術研究機構(株式会社東芝、国立大学法人東京大学、国立大学法人京都大学)

開発技術のポイント

適用環境、従来技術と課題

橋梁点検は、「近接目視・打音」が基本である。今後20年で半数以上が建設後50年以上となり、従来通りの点検では、財政的にも、人的リソース的にも維持管理が困難となる。

今回開発したシステムでは、主に鉄筋コンクリート床版(RC床版)の劣化(ひび割れ)を対象とした。RC床版の劣化を初期段階から監視するには、内部ひび割れから生ずる高周波(~1MHz)の振動(AE)を検知する必要がある。また、大規模損傷の有無を検知するには低周波(数Hz)に対応することが有効であり、コスト面から広い周波数を1つのデバイスで対応するセンサが望まれていた。

開発技術と効果

初期段階の劣化から大規模劣化までを振動検知するには超広帯域のセンサが必要であり、1Hz~1MHzに対応した「スーパーアコースティックセンサ」(SAセンサ)を開発した。また、SAセンサが複数搭載可能な手のひらサイズの自立電源搭載無線センサ端末を開発し、遠隔監視することを可能とした。また、得られたデータをもとに橋梁床版の劣化状況評価を行い、橋梁維持管理の効率化を実現した。

解決する課題 ユースケース(適用場面)

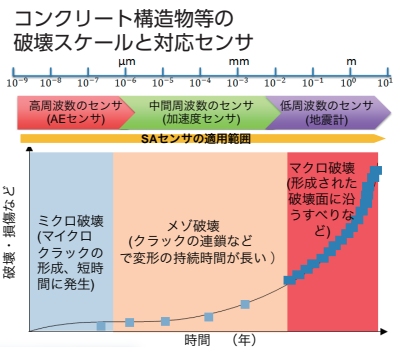
SAセンサを利用した橋梁センシングシステムのイメージ(下図)

■SAセンサ端末(図①)

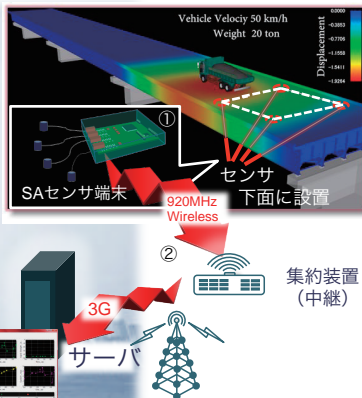
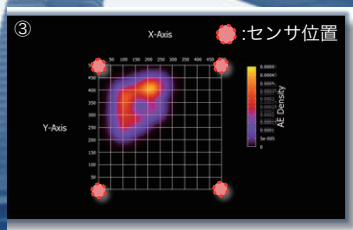
…片手サイズ、自立発電、無線伝送可能。
橋梁の観測ポイントに設置

■センシングデータをセンサ端末から無線で収集。サーバへ送信(図②)

■サーバでデータを分析し、橋梁の劣化状況を監視(図③)
→初期段階の劣化から遠隔サーバにて状態監視することが可能となる。



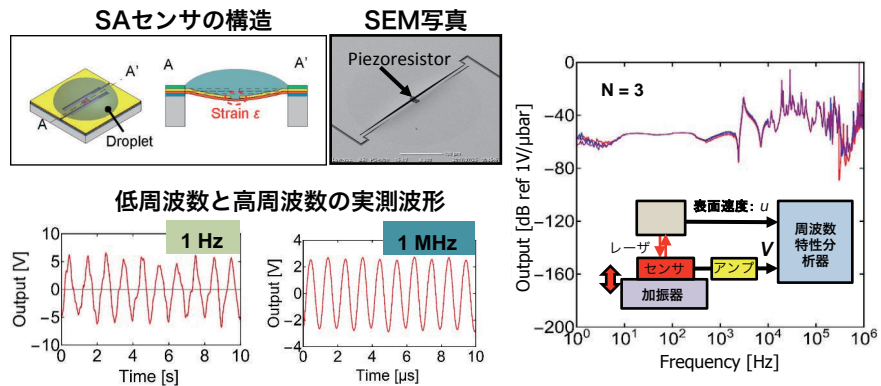
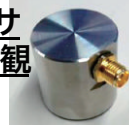
床版の劣化状況を遠隔監視



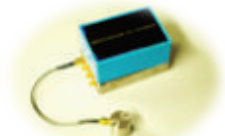
●技術の概要 技術的特徴

気液界面振動により、梁構造で決定される固有振動以外の広い帯域の振動に応答するセンサを実現(1Hz~1MHz)

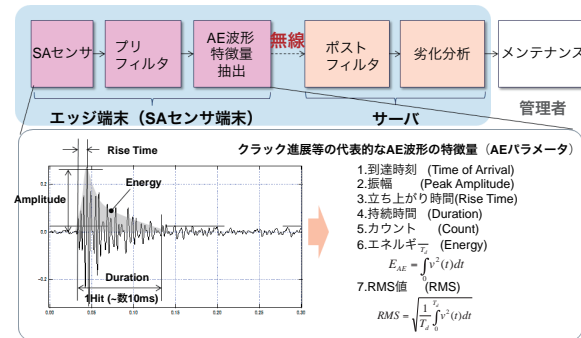
SAセンサノード外観



小型無線センサ端末



システムの信号処理ブロック



■エッジ端末での特徴量抽出により1/1000程度にデータを圧縮
→省電力無線データ伝送

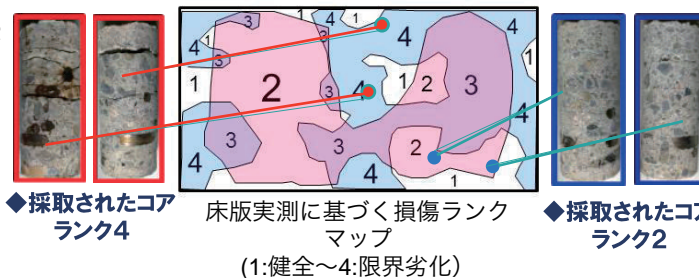
主要諸元

外形寸法(メインユニット部)	L100mm×W70mm×H50mm
外形寸法(センサノード部)	Φ25mm × H27mm(円筒形)
発電デバイス	単結晶Si ソーラーセル (L90mm×W60mm)
蓄電デバイス/容量	リチウムイオンキャパシタ/240F
無線周波数	928MHz

トモグラフィ法による速度分布とAE源の密度分布との双方の情報をベースに、内部損傷をランク分けする指標を提案

健全性定量評価手法

AE源密度分布分析
+
速度構造解析
↓
内部損傷を4段階に
ランク分け



●技術の動作実績 現場実証実験状況

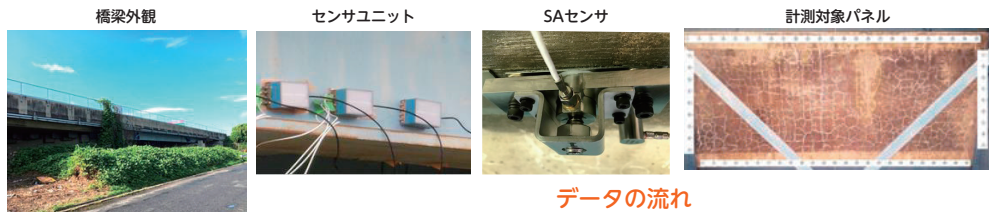
期間	平成29年11月～平成31年1月
場所	橋梁(西日本高速道路(株)管内)

■実験の目的

橋梁の鉄筋コンクリート床版(RC床版)にSAセンサを設置し、イベントドリブン動作による監視システムの実証を行う。

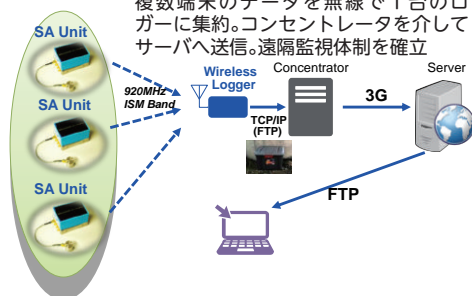
■実験状況

対象橋梁のRC床版下面に複数の自立電源動作センサユニットを設置した。大型車走行イベントの発生時に起動し、通常はスリープ動作することによる超低消費電力駆動動作の長期実証を実施した。



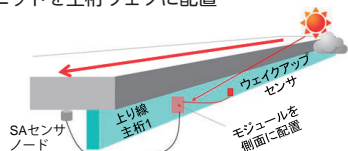
データの流れ

複数端末のデータを無線で1台のロガーに集約。コンセントレータを介してサーバへ送信。遠隔監視体制を確立



センサ端末の配置

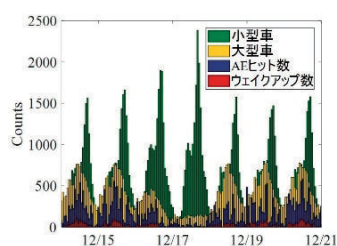
自立電源(太陽光パネル)を搭載したユニットを主桁ウェブに配置



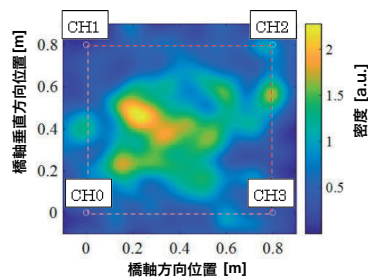
■結果レポート

大型車通行に対応してセンサシステムが起動する事を確認した。遠隔取得したデータを元に交通荷重AEの震源分布の可視化が可能となった。

交通量と起動データ



交通荷重AE分析結果



■長大橋への展開:PC橋梁重大損傷監視システム

PC鋼材破断をトリガー信号として、SAセンサを計測状態とし、その後には生じる鋼材周りのモルタルの破壊や再定着から生じるAEをSAセンサにより検知することにより、損傷箇所を特定するシステムを開発した。

実橋梁における各種検証試験

- ・ノイズレベル確認
- ・ウェイクアップの挙動確認

模擬供試体を用いたPC破断試験



弾性波減衰特性計測

検知システム

模擬供試体

●実用化・事業化に向けた見通し・取組み

■開発品の現状分析

本研究では、開発したプロトタイプの前橋現場でのフィールド実証を実施し、概ね想定される動作が確認出来ている。事業化に向けては量産プロセスの確立と品質確保が必要である。

■実用化・事業化に向けた見通し

インフラ維持管理の効率化ニーズは極めて高い。実証実験の完了を踏まえて、数年以内の小型無線センサ端末の事業化及び橋梁診断サービスの事業化を予定する。

■実用化・事業化に向けた取組み

国内高速道路のモニタリングを皮切りに、国道・自治体、海外の道路へ展開する。また、他の社会・産業インフラへの展開を目指す。



橋梁現場のセンシングから信号伝送ネットワーク及びサーバにおける健全性評価手法まで一連の遠隔監視システムを構築

◆本テーマの連絡先

所属	主任研究者	連絡先・HP情報
株式会社東芝 研究開発センター	渡部 一雄	〒212-8582 神奈川県川崎市幸区小向東芝町1 TEL: 044-549-2361 Email: kazuw.watabe@toshiba.co.jp http://www.toshiba.co.jp/tech/review/2017/02/72_02pdf/f04.pdf

技術委員会メンバーのコメント



インフラ維持管理・更新等の社会課題対応システム開発プロジェクト 技術委員

三田 彰

慶應義塾大学
理工学部 システムデザイン
工学科
教授

高速道路等の橋梁の床版内部の損傷や劣化を検知する橋梁センシングシステムとしてデバイス開発からシステム化まで一貫したシステムとして構築できている。

特に振動検出用に新規に開発したデバイス(SAセンサ)は、気液界面振動を利用する新しい着眼により広帯域な振動検出を実現していることは評価したい。このデバイスを内蔵したセンサ端末は、現場で高速な信号処理を可能とし、かつ自立発電と無線伝送により簡易な設置を可能としており実用性が高い。

電力消費を低減するために車両通過信号によりシステムを目覚めさせ、振動信号を処理する工夫が実現されている。床版の健全性評価手法として、AE震源密度分布と弾性波伝搬速度分布に基づいた損傷の定量評価に成功していることは評価できる。これらの要素技術を総合して、床版の微小振動の検出から、遠隔サーバへの通信、健全性モニタリングまでの統合システムが構築できていることにより、具体的な社会貢献が期待できるシステムとなっている。

本テーマで開発された要素技術及び評価システムは、今後の実社会での活用が大いに期待されるものとなっている。センサそのものの応用範囲も広く期待できる。今後、特定箇所のモニタリングのみならず、マクロな手法と融合して統合したシステムとして展開されることを期待したい。

フレキシブル面パターンセンサによる橋梁センシングシステムの開発

委託先 技術研究組合NMEMS技術研究機構(国立研究開発法人産業技術総合研究所、大日本印刷株式会社)

開発技術のポイント

適用環境、従来技術と課題

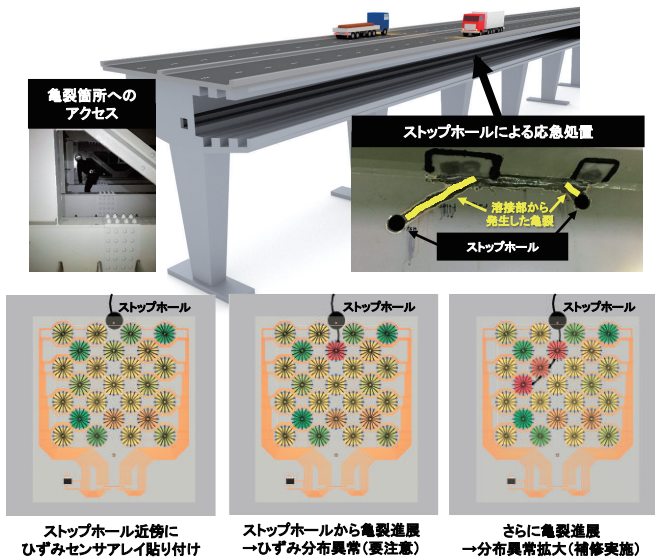
高速道路の鋼橋において疲労亀裂は全国で数千か所以上発生しているが、費用不足のため、当て板、補修溶接等の補修が間に合っていない状況である。そこでストップホールによる亀裂進展止めの応急処置がなされているが、作業員不足のため、ストップホールからの亀裂再進展などの経過観察が十分にできない状況である。

開発技術と効果

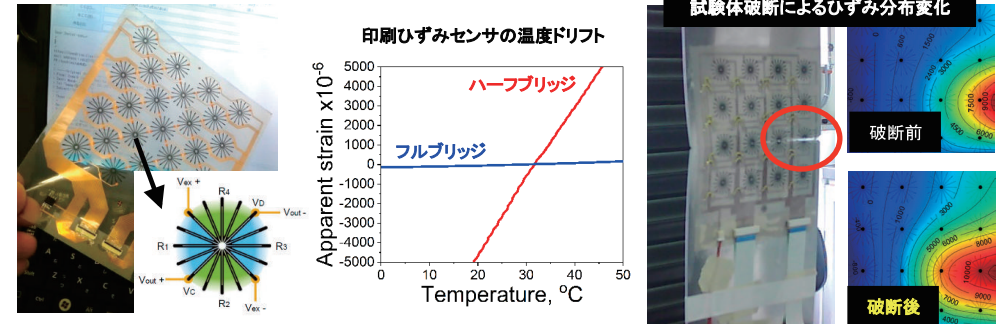
本研究ではひずみセンサアレイシート(フレキシブル面パターンセンサ)を開発し、それをを用いて鋼橋のストップホール周囲のひずみ分布を測定することで、亀裂進展のモニタリングを実現した。グラファイト印刷技術によりひずみセンサアレイシートの製造コストを従来ひずみセンサの1/20以下とし、耐候性保護フィルムにより屋外環境で10年以上の耐久性を達成した。また、現場での簡単施工を可能にする接着シートとの一体化も実現した。

解決する課題 ユースケース(適用場面)

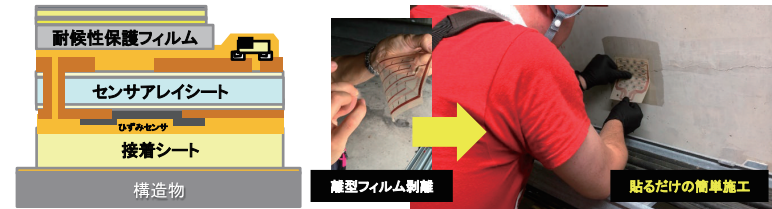
鋼橋に亀裂が発生した場合は、亀裂先端部分に穴をあけるストップホール工法により亀裂進展を防ぐ応急処置がとられる。しかしながら荷重条件によってはさらに亀裂が進展する危険性がある。そこでストップホール周辺の応力状態をひずみ分布センサでモニタリングすることにより、アクセス困難な亀裂発生部に作業員を派遣しなくとも、経過観察をオンラインで行えるようにする。



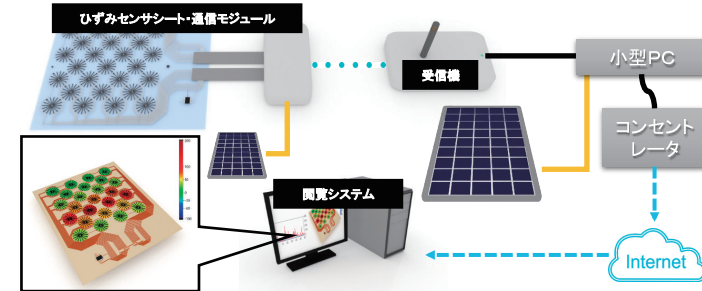
技術の概要 技術的特徴



高密度・大面積ひずみセンサアレイ 亀裂進展を確実に検知する密度でセンサを配置可能
 温度ドリフト: $6 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$ フルブリッジ構造による温度補償により亀裂進展検出に必要な感度を実現
 箔ひずみセンサの1/20以下のコスト グラファイトインク印刷による一括形成により実現



高耐候性保護フィルムの開発 UVカット、水蒸気バリア性を有する積層構造のフィルム部材を開発
 高耐久・簡単施工接着シート 屋外使用10年以上の接着耐久性と貼るだけの簡易施工を実現
 透明フレキシブル面パターンシート 亀裂の状態が外部から観察でき、曲面への施工も可能で、面的なひずみ分布を視覚的に把握可能



自立電源測定システムの開発

センサ駆動からクラウドへのアップロードまで太陽光パネルで駆動することにより簡単施工と低価格運営を実現した。
 リモート計測・制御ソフトウェア
 測定条件の設定やシステム稼働状態を外部からアクセス可能とした。

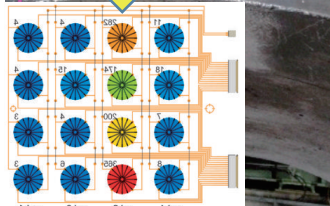
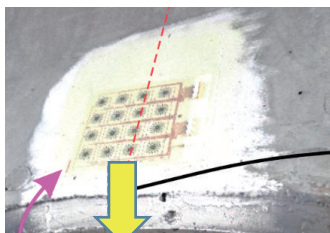
主要諸元

シートサイズ	L120mm × W120mm
ひずみセンサ感度、温度ドリフト	10×10^{-6} 、 $6 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$
送信モジュール電力、システム電力	120mW、10W
UVカット性、水蒸気透過率	99.6%、 $0.1 \text{g/m}^2 \cdot \text{day}$

●技術の動作実績 現場実証実験状況

期間 平成28年9月～平成31年1月
 場所 高架橋(阪神高速道路(株)管内)

■実験の目的
 ひずみ分布が実橋の車両通過時に可視化できること、屋外環境にてひずみセンサの温度補償が有効に機能することを
 実証する。また、接着シートによる簡単施工の有効性を現場検証する。



接着シートによる貼り付け

車両通過時にひびに沿ったひずみ分布異常を確認

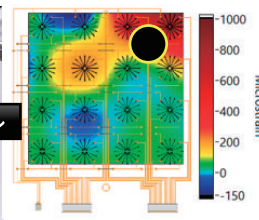
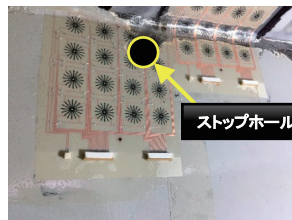
期間 平成29年5月～平成31年1月
 場所 鋼橋(阪神高速道路(株)管内)

■実験の目的
 ストップホール近傍のひずみ分布の計測を実証する。



実証鋼橋

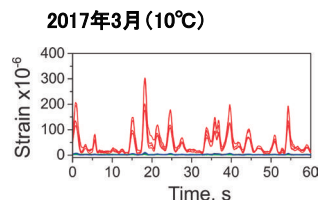
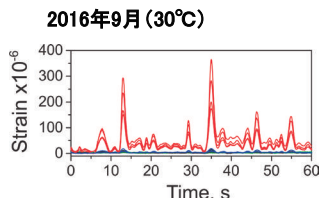
箱桁内部での作業



ストップホール周辺に貼り付けたセンサシート

ストップホール周囲のひずみ分布

■結果
 鋼橋のストップホール周辺において200x10⁻⁶とその他の箇所との2倍以上のひずみが検出され、その方向に亀裂が進展する可能性が示された。システム全体の太陽電池パネル駆動、電波が届かない環境でのデータ中継を現場で実証できた。



気温が20°C異なっても車両通過時のひずみレベル(縦軸)は同じ

期間 平成30年7月～
 場所 ダム内部

■実験の目的
 電力施設への展開を実証する。



ダム内の監査廊内に設置



複数台の中継機により電波環境の悪い監査廊内部から屋外までセンサデータを送信できることを確認

●実用化・事業化に向けた見通し・取組み

- プロジェクト終了後2年以内の実用化、大日本印刷株式会社(DNP)が高速道路各社や電力事業者へ販売
- 高性能フィルム部材を扱う事業部への移管を想定
- 展示会への出展など広報活動、既存顧客を足掛かりとしたマーケティング



◆本テーマの連絡先

所 属	主任研究者	連絡先・HP 情報
-----	-------	-----------

国立研究開発法人 産業技術総合研究所 集積マイクシステム 研究センター	小林 健	〒305-8564 茨城県つくば市並木 1-2-1 TEL : 029-861-7018 Email:takeshi-kobayashi@aist.go.jp https://www.aist.go.jp/aist_j/press_release/pr2017/pr20170411/pr20170411.html
--	------	--

実用化・事業化について

大日本印刷株式会社 研究開発センター	富樫 和義	〒277-0871 千葉県柏市若柴 250-1 TEL : 04-7134-0514 Email:Togashi-K@mail.dnp.co.jp https://www.dnp.co.jp/news/detail/1187697_1587.html
-----------------------	-------	--

技術委員会メンバーのコメント



インフラ維持管理・更新等の社会課題対応システム開発プロジェクト 技術委員

河西 龍彦

宮地エンジニアリング株式会社
 執行役員
 千葉工場生産管理部長

鋼橋の亀裂やコンクリートのひび割れの進展をモニタリングが可能なフレキシブル面パターンセンサという特徴的技術の開発に成功している。このセンサは、ひずみセンサを高密度に配置したひずみセンサレイシート、無線センシングシステム、日照や雨水に対する耐候性保護層、施工を容易にする接着シートを一体化したもので使用性に優れていると評価できる。

ひずみセンサレイシートは屋外で10年以上の耐久性が実現されているため実用的である。また、紫外線硬化性のある粘接着シートを用いることで、さまざまな構造面に貼ることが可能であり簡単に施工できる優位性を有している。また、このシートは開発した特殊製法により通常のひずみセンサの1/20以下の低コストでありながら、同等の亀裂検出感度を有するため、コスト競争力に優れていると認められる。

実証実験により亀裂・ストップホール実験で有効性を確認できている点は素晴らしい。

車両通過時の動ひずみならびに溶接部付近の出力が最大となるようなひずみ分布が計測可能なことを実測したことは世界初であり、フレキシブル面パターンセンサの適用可能性を示せたことで意義がある。今後の活用が期待される。

道路付帯構造物傾斜センシングシステムの開発

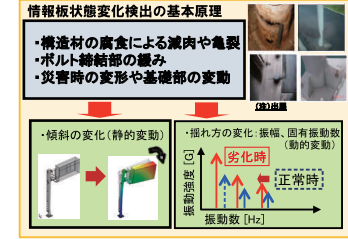
委託先 技術研究組合NMEMS技術研究機構(富士電機株式会社)

開発技術のポイント

- 適用環境、従来技術と課題**
情報板や照明柱等の道路付帯構造物の日常点検は、目視を主流とした点検が道路管理者により実施されてきた。目視点検は、経験等により個人差があり評価を定量化できないという課題がある。また、老朽化構造物の増加と少子高齢化の進展によるメンテナンス技術者の不足により、点検業務(ボルトのゆるみ、支柱基部腐食、災害や事故時の変形等)の効率化が求められている。
- 開発技術と効果**
MEMSセンサデバイス、傾斜マルチセンサ端末及びセンシングシステムを開発し、情報板の遠隔からの常時モニタリングが可能になった。道路付帯構造物の「傾斜の変化」及び「揺れ方(振幅、振動数)の変化」を常時モニタリングする事で状態変化を検出(フィルタリング)し、点検業務の高度化・効率化に資する。
* 災害発生前後の変化確認: 災害時初動対応や現地調査優先度の判断支援
* 経年変化の監視: 点検の優先度/間隔、劣化進行の判断支援

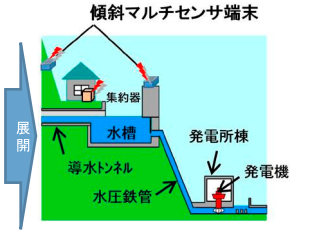
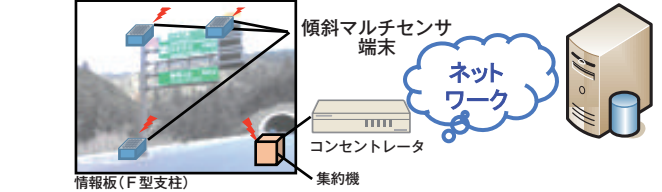
解決する課題 ユースケース(適用場面)

- 点検の現状: 道路付帯構造物の老朽化の進展と技術者の不足
- 今後20年での建設後50年以上経過する構造物の増加に伴う補修・更新費用の増大(財政的課題)
- 少子高齢化の進展によるメンテナンス技術者の不足(人的課題)
- 通常、点検は目視により行われ、判定結果は技術者の知識・経験や感覚によるところが大きい
ため、評価の定量化が困難
- 課題への対応: 点検の効率化と判定結果の定量化
- 道路付帯構造物の傾斜や振動の変化を傾斜マルチセンサ端末で測定・定量化することにより情報板の変形や強度変化等を検出し点検業務を高度化・効率化する。
- 大規模模塊インフラへの展開
- 公衆災害リスクのある発電施設・構造物の常時監視



(注) 出展: 附属物(標識、照明施設等)点検要領(案)平成22年12月
国土交通省道路局国道、防災課

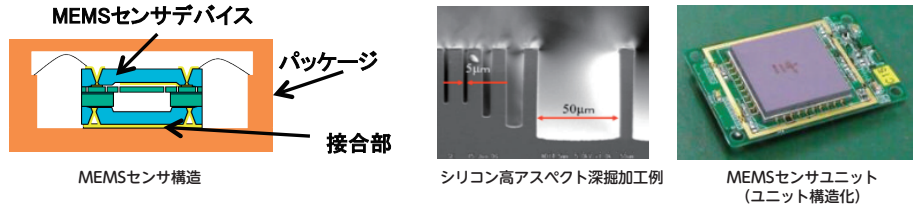
センサネットワークシステム



●技術の概要 技術的特徴

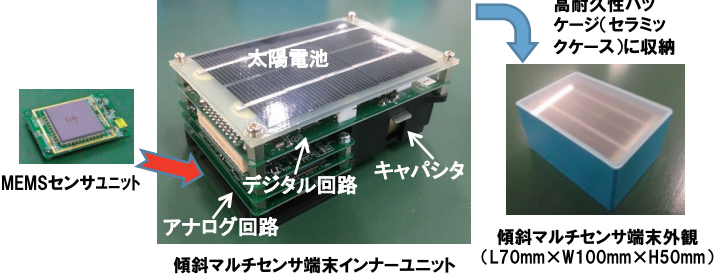
MEMSセンサデバイス

従来のMEMS加速度センサに対して安定性及び分解能が高く下記目標を達成した。
目標: 傾斜出力安定性: $\pm 0.05 \text{ deg}$ 、振動測定分解能: $\pm 0.1 \text{ Gal}$
方法: MEMSセンサの構造最適化(対称構造、高アスペクト深掘加工)
ユニット構造による信号処理回路安定性向上



傾斜マルチセンサ端末

傾斜/振動/温度が一台の端末で測定可能、従来に無い高分解能で安定性の高い自立発電型コードレス端末であり、設置性及び耐久性が良くメンテナンスフリー
目標: 傾斜/振動/温度が同時測定可能なマルチセンサ端末
自立電源(太陽電池)、無線通信(コードレスセンサ端末)、高度解析対応
方法: 間欠駆動と待機時最適化、無線通信安定化
高速無線通信(1Mbps~500Kbps)による大量データの短時間送信
複数センサ間の時刻同期: 無線システムでの時刻同期 ($\pm 1 \text{ msec}$)



主要諸元

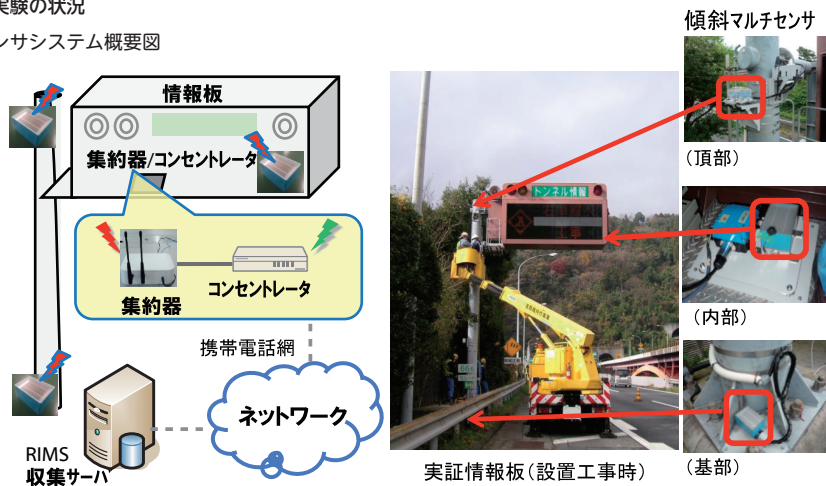
検出	加速度: 3軸、傾斜: 2軸(X、Y方向)、温度
計測範囲	加速度: $\pm 2G$ 、傾斜: $\pm 45 \text{ deg}$ 、温度: $-30 \sim 60 \text{ }^\circ\text{C}$
周波数応答	振動: $0.1 \sim 50 \text{ Hz}$ 、傾斜: $DC \sim 0.5 \text{ Hz}$
分解能	加速度: $\pm 0.1 \text{ Gal}$ (3軸) (傾斜: $\pm 0.006 \text{ deg}$ 相当)、温度: $0.1 \text{ }^\circ\text{C}$
ゼロ安定性	傾斜: X、Y軸: $\pm 0.05 \text{ deg}$
時刻同期	$\pm 1 \text{ msec}$ 以内(複数センサ端末間相対値)
サンプリング周波数	加速度: 200 Hz 、傾斜: 2 Hz
送信周期	1時間に1回1分間のデータを送信
通信方法	特定小電力無線: 920 MHz 帯、送信距離: 30 m 以上、送信速度: $500 \text{ kbps} / 1 \text{ Mbps}$
使用条件	周囲温度: $-30 \sim 60 \text{ }^\circ\text{C}$ 、周囲湿度: $95\% \text{ RH}$ 以下
電源	自立電源: 太陽電池
外形寸法 / 質量	$L70 \text{ mm} \times W100 \text{ mm} \times H50 \text{ mm}$ / 約 600 g
外被形式	防水・防塵形: IP 相当

●技術の動作実績 現場実証実験状況

期間	平成30年1月～平成31年1月
場所	情報板(中日本高速道路(株)管内)

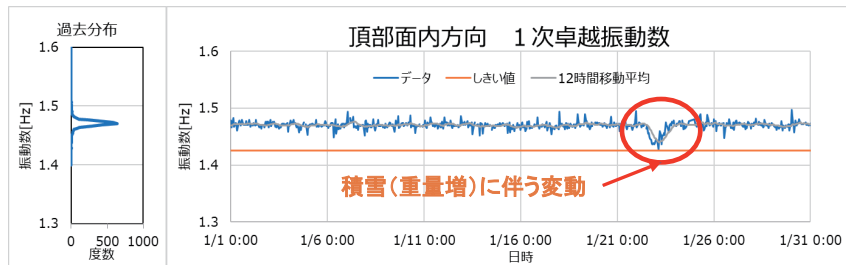
■実験の目的
 実証サイトでの設置作業確認、計測・無線通信の確認、課題抽出
 実証サイトでのデータ取得による情報板挙動の把握とモニタリングパラメータの検討

■実験の状況
 センサシステム概要図

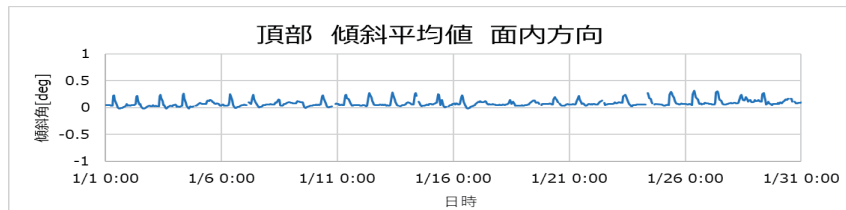


■結果レポート
 卓越周波数及び傾斜のトレンドグラフ

・卓越周波数: 面内方向(道路幅方向)



・傾斜: 面内方向(道路幅方向)



卓越周波数や傾斜平均値は年間を通して変動が小さく安定していることが確認できた。このことから、特微量として使用する事で、情報板の状態変化を検出可能と考えられる。運用中の情報板にセンサを設置して実証実験を行った結果、卓越周波数や傾斜の継続的な計測に成功した。さらに、遠隔モニタリングの動作を確認できた。

●実用化・事業化に向けた見通し・取組み

■製品化開発

- ・事業性の見極めを行い、マルチセンサ端末、センシングシステムの製品化を行う。
- ・本開発で得た要素技術を弊社製品に適用し、性能の向上を図る。

■事業展開

- ・製品化開発後、道路付帯構造物/発電施設のモニタリングシステムを展開する。
- ・他事業への展開: 橋梁、港湾施設、建築物など他のインフラモニタリングシステムへ展開する。



◆本テーマの連絡先

所属	主任研究者	連絡先・HP 情報
富士電機株式会社 技術開発本部 先端技術研究所 システム技術研究センター システム基盤技術研究部	矢尾 博信	〒191-8502 東京都日野市富士町1番地 TEL: 042-586-1020 Email: yao-hironobu@fujielectric.com http://rims.la.coocan.jp/papers/docs/201901/2019_rims_3.html

技術委員会メンバーのコメント



インフラ維持管理・更新等の社会課題対応システム開発プロジェクト 技術委員

松田 浩

国立大学法人長崎大学
インフラ長寿化センター
センター長

「高速道路の付帯構造物の健全性モニタリング」という具体的なニーズに基づき、管理者である高速道路会社と連携を取りながら実用技術を開発できていることが評価できる。

実際に高速道路の情報板や照明設備に高性能マルチセンサを設置して、傾斜角・振動数・温度を計測し、積雪や台風等の自然災害の事後診断として施設への影響を的確に取得できている。また、このマルチセンサは太陽電池で継続的に稼働するセンサ及び通信システムも実現できている。一方、健全性の評価手法の確立が課題である。経年劣化のモニタリング手法は現場フィールド実証試験等による今後の開発が期待される。また、安全性の閾値等は適用場所や状況により調整が必要と想定されることから、ユーザとの共同でのデータの蓄積と試行的なフィールド試験が必要である。

ユーザである高速道路会社からも将来的な期待が寄せられており、前向きな計画を描いている。この技術がどのように役立ち、有効なのかを明確にした上で将来展開を示してほしい。今回は道路付帯構造物を対象としているが、発電施設等の斜面、傾斜地に適用場所を展開するなどにより、広い活用が期待できる。

04 法面変位センシングシステムの開発

委託先 技術研究組合NMEMS技術研究機構(三菱電機株式会社)

開発技術のポイント

適用環境、従来技術と課題

高速道路の法面(のり面)や自然斜面では、地すべりの前兆としてミリメートルオーダーの変位が発生することが知られており、通行止め等の判断を行う道路管理基準の目安として用いられている。このミリメートルオーダーの変位を計測する従来技術として、GPS(Global Positioning System)、光波測量を用いた方法等がある。しかし、GPSでは衛星の電波が届かない崖や峡谷での計測が困難であり、光波測量では濃霧等の悪天候時に計測が困難という問題があった。

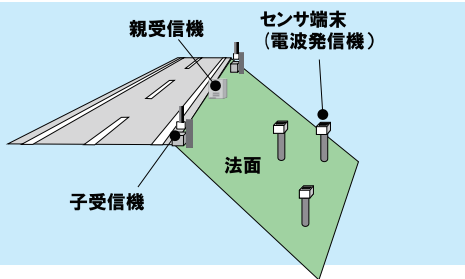
開発技術と効果

920MHz帯の電波の位相差を用いることで、ミリメートルオーダーの微小な3D変位を長期間にわたり、常時計測するシステムを開発した。法面に設置して電波を放射するセンサ端末は920MHz帯の特定小電力無線を用いることで、太陽光発電と蓄電デバイスのみで動作し続けるようにした。また、センサ端末は、温度センサ・傾斜計等の複数のデバイスを実装することで、変位だけでなく傾斜角・温度等のデータを収集可能にした。さらに、法面上の草木に対して、電波が透過・反射することで生じる位相誤差を低減する方式を開発し、実環境下で1時間あたり4mmの変位の検出を可能とした。

解決する課題 ユースケース(適用場面)

■想定する場面と要望

- ①計測する法面は電源供給を不要としたい
- ②メンテナンスが不要なように10年間連続動作させたい
- ③悪天候時でも計測したい
- ④変位だけでなく、傾斜・温度等のデータも計測したい
- ⑤草木に覆われていても高精度に変位計測したい



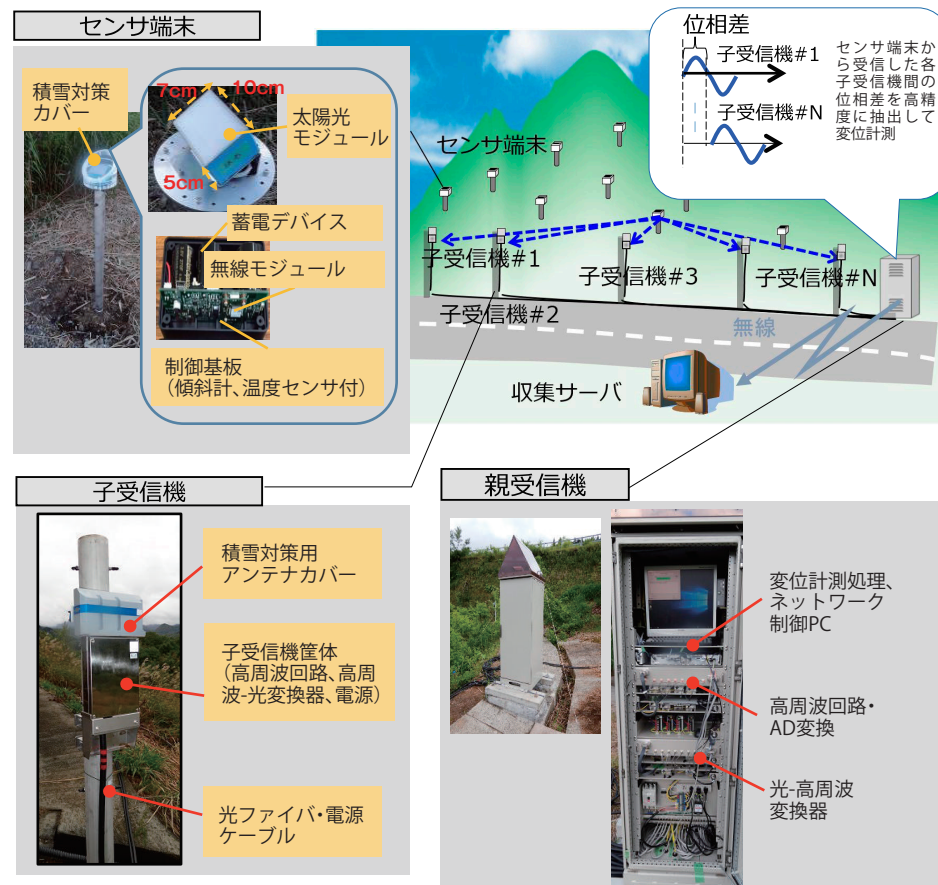
■開発したシステムの特長

- ①太陽光発電による自立電源動作
- ②低消費電力メッシュネットワークと蓄電デバイス搭載による連続動作
- ③920MHz帯無線による計測
- ④傾斜計・温度センサを搭載
- ⑤複数の周波数Ch利用による草木の影響低減



●技術の概要 技術的特徴

センサ端末から電波を順番に放射し、その電波を複数の子受信機で受信する。子受信機間での電波の受信位相差(距離差)から、センサ端末の位置をミリメートルオーダーで推定する。



主要諸元

項目	仕様	値
センサ端末	外形寸法(積雪対策カバー除く)	L100mm×W70mm×H50mm
	消費電力	10mW
	周波数帯(規格)、出力	920MHz帯(WiSUN)、20mW
	通信距離	30m以上(マルチホップ有りで100m以上)
	耐環境性	IP6相当
子・親受信機	計測可能な情報(変位以外)	傾斜角・温度・充電電圧
	消費電力	400W(子機16機の場合)
	耐環境性	IP6相当
	子受信機接続数	最大16機
変位計測性能	1時間あたり4mmの変位検出	

●技術の動作実績 現場実証実験状況

期間 平成29年9月～平成31年1月
 場所 法面(東日本高速道路(株)管内)

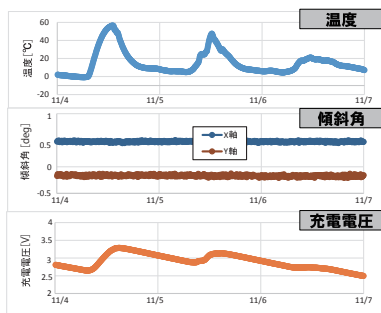
■実験の目的
 東日本高速道路(株)が管理する法面に機材を設置し、1時間あたり4mmの変位が検出可能か検証する。また、実環境下での耐久性についても検証する。

■実験の状況



センサ端末16台、子受信機16機、親受信機1機を設置し、強制的にセンサ端末を変位させる実験を行った。

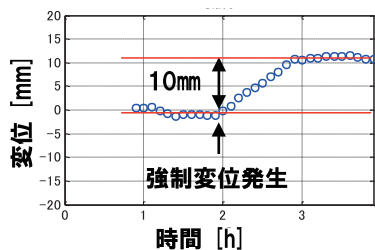
■結果レポート



温度、傾斜角、充電電圧を同時に計測できた。

センサ端末は4mの積雪にも耐えて融雪後も動作し続けることを確認した。

強制的にセンサ端末を変位させる実験では、10mmの変位を高精度に検出でき、1時間あたり4mmの変位が検出可能であることを確認した。



●実用化・事業化に向けた見通し・取組み

■開発品の現状分析

実際の法面で高精度に変位を計測可能なことを検証し、実用に必要な精度を有することを確認した。今後は、本システムの適用条件の見極め、システム全体の低コスト化等の取組みを行う。

■実用化・事業化に向けた見通し

高速道路において要注意の法面は200箇所程度あり、また、一般国道の法面・斜面に至っては、地すべりの危険箇所が1万箇所程度ある。高精度に法面の変位を検出することで事前に地すべりの予兆を検知する本システムへのニーズは大きい。

■実用化・事業化に向けた取組み

システム全体の低コスト化に向けた取組みとして、受信機間のケーブルを簡素化する方式を検討中であり、これにより、コストダウンが期待できる。また、今回の実証実験で蓄積したデータをフィードバックし、現場環境を想定した精度評価のためのシミュレーション技術も開発中である。これにより、実験を行わずとも、地形情報等の入力により概略の精度評価が行えるようになり、本システムの適用可否の判断が簡易に行えることが期待できる。事業化計画として、2019年度に実用化に向けたシステム設計を行い、2020年度以降に試作・製品化の予定である。

◆本テーマの連絡先

所属	主任研究者	連絡先・HP情報
三菱電機株式会社 情報技術総合研究所 レーダー信号処理技術部	鈴木 信弘	〒247-8501 神奈川県鎌倉市大船 5-1-1 TEL : 0467-41-2062 Email:Suzuki.Nobuhiro@ak.MitsubishiElectric.co.jp http://rims.la.coocan.jp/papers/docs/201901/2019_rims_4.html

技術委員会メンバーのコメント



インフラ維持管理・更新等の社会課題対応システム開発プロジェクト 技術委員

大和田 邦樹

一般社団法人
次世代センサ協議会
専務理事

高速道路脇の法面の地すべり検知という具体的な現場ニーズに基づいているテーマである。施設管理者にとって法面の地すべりを事前、あるいはリアルタイムに知らせるセンサへの期待は大きい。

山形自動車道の法面における実証実験に立ち会い、技術面での完成度が上がっていることを確認した。電波を活用した測位は先端的であり、多地点を同時に計測可能な優秀なシステムとなっている。また、草木による誤差を周波数ホッピングにより低減する技術は他に例を見ない優れたものであり、実証実験でも効果が示されている。設置も簡易であり実用的である。

トータルシステムとしての実用性・運用性を上げることにより地すべり検知能力が向上することが期待できる。また、実用化、事業化に向けて低コスト化が重要なので、そこにも注力して欲しい。

NEXCOのコメントからは、実用に対する期待と実現可能性が示されており、今後が期待できる。また、この技術は応用範囲が広く、丁寧に課題を解決していけば市場は大きいと思われ、他のポテンシャルユーザへの積極的な情報提供が望まれる。基本的技術はほぼ完成していることから、今まで提起された課題を解決して、事業化・実用化を進めてほしい。

無線通信ネットワーク 共通プラットフォームの開発

委託先 技術研究組合NMEMS技術研究機構(株式会社エヌ・ティ・ティ・データ)

開発技術のポイント

適用環境、従来技術と課題

土木インフラの老朽化や定期点検要領の更新により、土木インフラに様々なセンサが設置され、センサデータを処理する通信基盤が重複し、非効率な状況が発生している。センサの設置対象としては道路やダム等を構成する土木構造物、照明や標識などの道路付帯構造物など多種多様であり、取得されるデータも、形式、大きさ、取得頻度などが異なるため、データ処理や送受信を行う通信基盤はそれぞれのデータに適した方式で構築される。つまり、当初予定していなかった別種類のセンサなどを既存の通信基盤に追加することは容易でなく、加えて、蓄積したデータを複数種類で横断的に利用することも困難なことが多い。よって、土木インフラ管理者はセンサごとに構築された複数の通信基盤を利用する現状では、通信基盤の運用コスト増大やデータ活用の不足が発生している。

開発技術と効果

多種多様なセンサの差異を吸収し、データ収集やデータ活用を共通の通信基盤で実施することを目的として、様々なデータフォーマットやインターフェースの差異を吸収する通信仕様を開発した。これにより、通信基盤の運用コスト削減及び多種多様なデータの横断的な活用を可能とした。

解決する課題 ユースケース(適用場面)

課題① データ収集時の非効率

様々なセンサや専用の機器に対応したシステムが独自に構築されているため、通信基盤が重複している。

課題② データ利用時の非効率

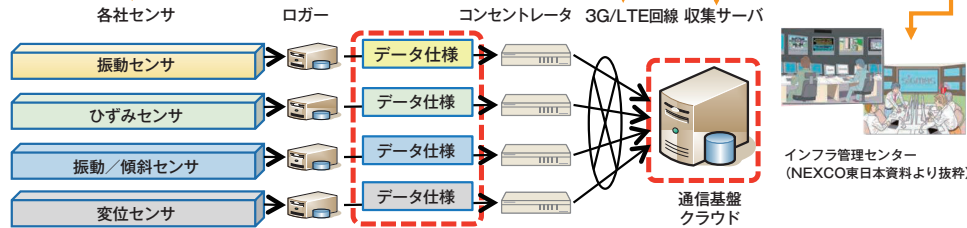
データの格納形式に共通性が乏しいため、様々なセンサから取得したデータを横断的に利用することが困難である。

課題③ 回線コスト増大

多数のセンサ設置により回線コストが増大しており、運用コスト削減が必要である。

課題④ セキュリティ確保

セキュリティ確保は必須であり、通信基盤が備えるべきセキュリティレベルを明確にする必要がある。



【開発技術】

様々なデータフォーマットやインターフェースの差異を吸収する通信仕様を実装し、通信基盤をクラウド上に共通化して実現

【効果】

- ・通信基盤の運用コスト削減
- ・多種多様なデータの横断的な活用

技術の概要 技術の特徴

① データ収集時の非効率対策

様々なセンサデータやセンサメーカーの仕様を吸収する通信仕様として、センサとコンセントレータで通信処理を行う際のデータ仕様を共通インターフェースとして標準化した。各社センサデータはログガーから共通インターフェースにもとづきコンセントレータで受信し収集サーバへデータを格納した。



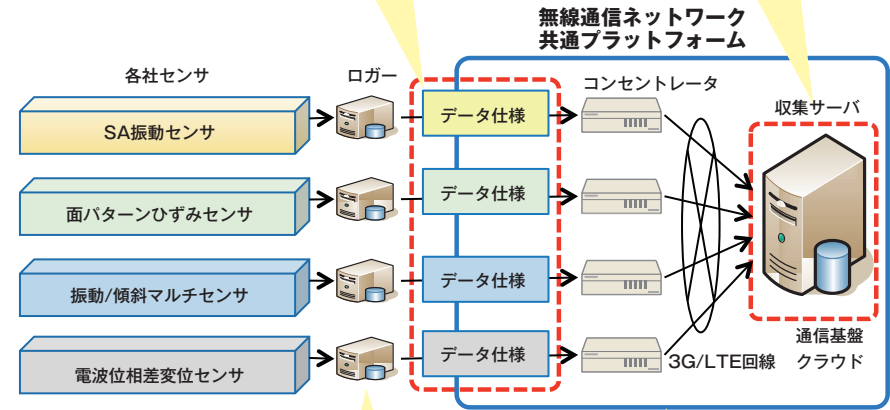
特徴として、センサ会社が容易に対応できることを重視し、特殊な方式ではなく汎用的なプロトコルなどの方式を採用した。

② データ利用時の非効率対策

多種多様なデータは共通インターフェースにより1つのデータベースに格納される。格納された多様なデータの統合的利用例として、道路管理者業務イメージを具体化した統合モニタリングシステムを開発した。

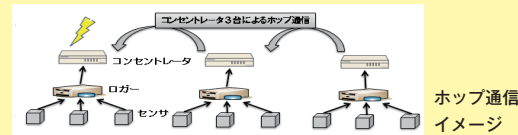


統合モニタリングシステム画面



③ 回線コスト増大対策

監視目的やセンシング対象によりコンセントレータからサーバに送信する通信量は様々であるため、回線使用量が少ない回線同士をコンセントレータ間のホップ通信によってまとめることで、回線コストを削減した。



ホップ通信はメッシュネットワークを活用することで、ホップ通信上のコンセントレータが万が一故障した場合でも、ネットワークが再構成され通信が継続することを確認した。

④ セキュリティ確保対策

無線通信ネットワーク共通基盤プラットフォームのリスク分析を行い、コンセントレータから収集サーバまでの範囲と比較して現地設置されるセンサやログガーの物理的な機器交換のリスクが相対的に大きいと判断し、センサやログガーの不正通信検出を対象とした。センサ/ログガー側での実装が困難であることを前提に、コンセントレータ側で実装できる不正通信検出方式を開発した。

●技術の動作実績 現場実証実験状況


期間	通信基盤設置期間:平成27年2月~平成31年1月 データ蓄積期間:平成28年9月~平成31年1月
場所	収集サーバ:データセンタ(都内) コンセントレータ:A橋(西日本高速道路(株)管内)、B橋(阪神高速道路(株)管内)、 情報板(中日本高速道路(株)管内)、法面(東日本高速道路(株)管内)、大規模インフラ

① データ収集時の非効率対策

■実験の目的
現地に設置されたセンサが取得した実データを共通インターフェースで収集できることを確認する。


■実験状況

A橋コンセントレータ設置状況



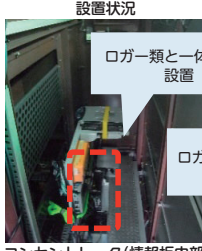
コンセントレータ

B橋コンセントレータ設置状況




コンセントレータ

情報板コンセントレータ設置状況



コンセントレータ(情報板内部)

法面コンセントレータ設置状況



ログー類一式

※大規模インフラ(長大橋、ダム、発電所)も上記と同様にコンセントレータを設置

■結果レポート
・共通インターフェースにもとづきそれぞれのデータフォーマットを作成し、すべての箇所で実データによってログーとコンセントレータの通信ができることを確認した。
・3G/LTE回線異常時などで発生するデータ欠損時に必要なデータ再送条件等の課題に対し、設定パラメータによる簡易な調整で問題なくデータ通信ができることを確認した。

② データ利用時の非効率対策

■実験の目的
種類の異なるセンサ取得データの統合的活用を確認する。

■実験状況
道路管理者のインフラ管理業務を模擬し、センサデータ以外に外部データ(気象データ)などを含めた相互利用について確認した。


■結果レポート
種類の異なるセンサ取得データだけでなく、外部データとの相互利用が容易であることを確認した。



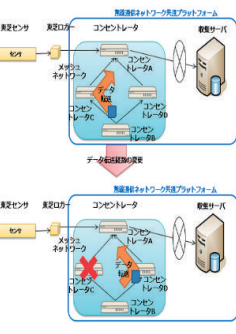
気象データを含めた表示例

③ 回線コスト増大対策

■実験の目的
実データでホップ通信と通信経路変更機能が問題ないことを確認する。



通信遅延状況グラフ



通信経路変更イメージ

■実験状況
3台でのホップ通信と通信経路変更時のデータ送信処理について、遅延状況を確認した。

■結果レポート
実データにて各機能に問題ないことを確認した。さらに、ホップ通信を使用することで、柔軟なコンセントレータ設置が可能になるメリットがあることを確認した。

④ セキュリティ確保対策

■実験の目的
コンセントレータでセンサ/ログーが通信する際の通信パケットを分析し不正通信を検出できるか確認する。

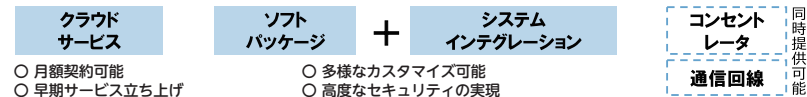
■実験状況
ポートスキャンなどシンプルな通信パケットについてCPUなど限られたリソースでセンサデータ送信に影響なく検知できるか確認した。

■結果レポート
シンプルな通信は問題なく検出できることを確認した。さらに、モニタリングシステム特有の定期的なデータ送信パターンを基準にした不正通信検出が可能であることを確認した。

●実用化・事業化に向けた見通し・取組み

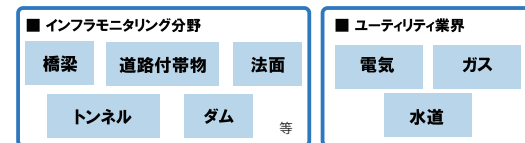
■事業化計画
・本プロジェクトで開発/検証した機能は、2015年より商用クラウドサービスとして展開しているIoT通信基盤「ANYSENSE」へ機能実装する目論見である。共通インターフェースだけでなく、実際に多種多様なセンサと接続することによって得た知見について、特に、非機能要件や運用要件の観点について整理し、製品サービスに反映する。
・平成31年度、クラウドサービス及びソフトウェアパッケージとしての機能提供を前提に機能実装について検討する。本プロジェクトで連携したセンサメーカー各社との共同提案を目論む。

■提供形態
クラウド提供だけでなく、ソフトウェアパッケージでのシステム構築にも対応し、幅広いニーズに対応する。



■展開ターゲット

インフラクライシスとして監視ニーズが長期継続的に期待されるインフラモニタリング分野及び再編により多様なニーズが期待されるユーティリティ業界をターゲットとする。



◆本テーマの連絡先

所属	主任研究者	連絡先・HP情報
株式会社エヌ・ティ・ティ・データ テレコム・ユーティリティ事業本部 ユーティリティ事業部	石川 裕治	〒135-8671 東京都江東区豊洲 3-3-9 TEL : 050-5546-8606 Email:lshikawayuj@nttddata.co.jp http://rims.la.coocan.jp/papers/docs/201901/2019_rims_5.html

技術委員会メンバーのコメント



インフラ維持管理・更新等の社会課題対応システム開発プロジェクト
プロジェクト・マネージャー

安川 裕介

国立研究開発法人
新エネルギー・産業技術総合開発機構
主査

インフラ維持管理のために多種多様なセンサが開発され各地に設置されると、それらの情報通信の統一化が課題となる。通信基盤の重複を防ぎ効率化を図ることは重要で、共通プラットフォームとしての効率化、低コスト化について良く検討して計画されている。
本プロジェクトでは、現場で求められるIFとフォーマットを仕様としてまとめて、ロバスタなネットワークを構築できていることを確認した。データ収集装置(コンセントレータ)を開発し、ホップ通信やセキュア対応などの性能面と、連続稼働や長期運用といった耐候性面等、実用的な技術が実現していることは評価できる。
実証試験として山間部の法面や都市部の橋梁でも実績を重ねており、送付したデータは道路インフラモニタリングシステムのテストシステムに表示して動作を確認済みであることは心強い。
今後、インフラモニタリングの目的に限らず広い用途においてプラットフォームとしての活用が期待される。

06 高耐久性パッケージング技術の開発

委託先 技術研究組合NMEMS技術研究機構(一般財団法人マイクロマシンセンター、日本ガイシ株式会社、大日本印刷株式会社)

●開発技術のポイント

■適用環境、従来技術と課題

橋梁、道路付帯構造物、法面など道路インフラ施設の健全性を無線でモニタリングするセンサネットワークシステムでは、センサ端末を長期安定して稼働させるために、その構成部品の実装には耐久性の高いパッケージが必要となる。

道路インフラ環境では、高温、高湿、日射、排ガス、塩害などの過酷な環境ストレスに長期間さらされるため、従来のパッケージでは耐久性に限界があり要求を満たすことは困難であった。

■開発技術と効果

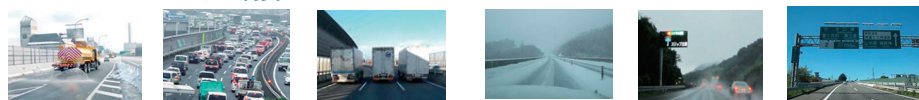
過酷な設置環境下で、センサ端末の性能を少なくとも10年間維持できる高耐久性パッケージを開発した。自立電源を含む端末構成部品を一括で気密実装可能なオールインワンパッケージング技術を開発するとともに、センサ端末をインフラ構造物に長期安定した品質で設置できる粘接着シートによる簡単施工方法も開発した。

●解決する課題 ユースケース(適用場面)

道路インフラモニタリングシステムの実用化に向けて、過酷な道路環境下でのセンサ端末の長期信頼性確保は重要課題であり、高耐久性パッケージが求められている。

道路インフラにおける過酷な環境ストレス

- ①凍結防止剤による塩害
- ②排気ガスによる腐食
- ③重量車両による振動
- ④積雪/低温/凍結
- ⑤多雨/多湿
- ⑥日射/紫外線



本プロジェクトでは、橋梁、道路付帯構造物、法面などに設置される各種センサシステムの共通基盤技術として、センサ端末の性能を少なくとも10年間維持できる高耐久性パッケージを開発した。



●技術の概要 技術的特徴

高耐久性、オールインワンを実現するパッケージング技術及びインフラ構造物への設置施工技術を開発

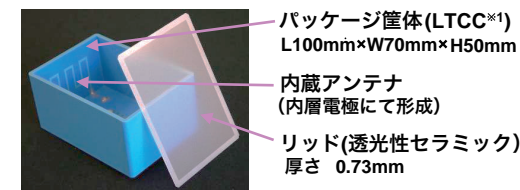
●高耐久性パッケージ
筐体にセラミック材(LTCC※1)を採用、無線内蔵アンテナを内層電極で形成した大型パッケージを開発

●オールインワンパッケージ
自立電源を含む端末構成部品を一括で気密実装するオールインワンパッケージを開発



●高耐久性設置施工
パッケージを構造物に簡便・強固に設置する粘接着シート接合技術を開発

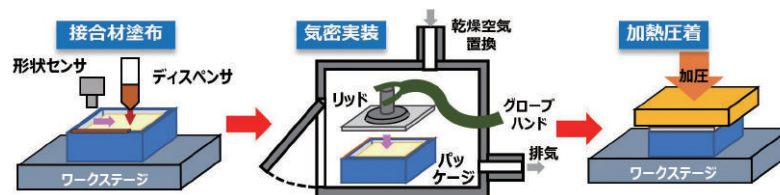
<パッケージ筐体の外観>



※1 LTCC: Low Temperature Co-fired Ceramics

<低温気密封止プロセス>

センサ端末構成部品に熱的影響を及ぼさないよう、無機有機複合接合材を用いた低温封止プロセスを開発



<リアルタイムリモート耐久性評価システム>

耐久性加速試験、実証現場での環境暴露試験の経過データを無線発信機で送信し、インターネットを介してサーバに蓄積、WEB上で試験結果の評価が可能



※2 PCT: Pressure Cooker Test

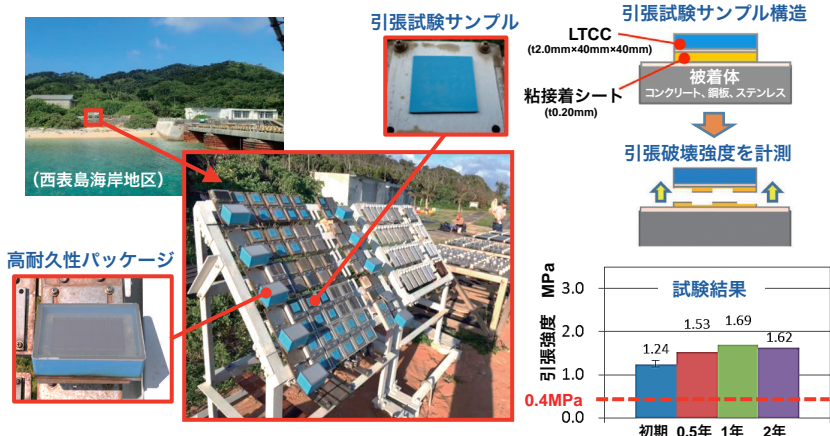
●技術の動作実績 現場実証実験状況

期間	平成28年7月～平成30年5月
場所	東海大学沖縄地域研究センター網取施設（沖縄県西表島）

■実験の目的
センサ端末を設置する実環境は複数の劣化因子の複合的環境であり、装置を用いた加速試験では再現できない劣化が起こり得る。複合的な環境ストレス下でのパッケージの気密耐久性及び粘接着シートによるインフラ構造物への接合耐久性を加速評価できる過酷環境暴露試験として、西表島の亜熱帯海洋環境下での各種耐久性を検証する。

■実験の状況
西表島海岸地区に、開発した高耐久性パッケージ及び粘接着シートによる接合強度を計測するための引張試験サンプルを設置して、約2年にわたり亜熱帯海洋環境に暴露し、気密性、接合強度を評価した。西表島の腐食における加速係数は、炭素鋼で約20倍以上、SUSで約7.5倍以上なので、約1.5年間の暴露試験により10年の耐久性が保証できる。

<亜熱帯海洋環境暴露試験>



■結果レポート
亜熱帯海洋環境暴露試験の結果、開発した高耐久性パッケージは気密性を維持するとともに、粘接着シートによる接合強度は規定の0.4MPa以上を満たし、実用上十分な耐久性を有することを確認した。以下に、規格認定試験所にて別途実施した道路環境ストレスに対応する耐久性加速試験の結果を示す。各項目とも10年相当の加速条件で合格しており、上述の複合環境ストレス下での加速試験として実施した亜熱帯海洋環境暴露試験の結果と併せて、目標とする10年相当の耐久性を有する見通しを得た。

<耐久性加速試験結果>

	①凍結防止剤による塩害	②排気ガスによる腐食	③重量車両による振動	④積雪/低温/凍結	⑤多雨/多湿	⑥日射/紫外線
道路環境ストレス						
対応する耐久性加速試験	塩水噴霧サイクル試験	腐食ガス試験	加速振動試験	低温試験	PCT試験 (Pressure Cooker Test)	耐候性試験
条件 (耐久性10年相当)	(塩水噴霧2hr+40°C98%7日)×4回	40°C、80%、SO ₂ :25 ppm NO ₂ :4 ppm 500 hr	1.6m/s ² 90 hr (振動実測波の3倍)	-40°C、100 hr	85°C、85% 0.12 MPa 672 hr	(UV162 W/m ² 48 min + 散水 12 min) ×500回 (63°C)
判定	合格	合格	合格	合格	合格	合格

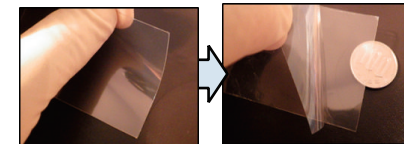
●実用化・事業化に向けた見通し・取組み

■セラミック(LTCC)パッケージ (日本ガイシ株式会社)
LTCC基板・透光性セラミック基板を用いたパッケージの普及に向けて、高い耐久性ととともに内層電極により形成される無線アンテナなどの特長をアピールし、道路管理会社やセンサ端末メーカーの採用を目指す。実用化に向けた課題である低コスト化に必要な製造プロセスの検討を進めるとともに、ニーズ調査に基づき、広くインフラモニタリングシステム向けに「高耐久性セラミックパッケージ」の展開を図る。



セラミック(LTCC)パッケージ

■設置施工用 粘接着シート (大日本印刷株式会社)
粘接着シートによる貼付施工は、液状接着剤と比較し簡単施工で安定した設置品質が得られ、さらに、屋外環境での耐久性を有するなどの特長をアピールし、道路管理会社やセンサ端末メーカーの採用を目指す。



設置施工用粘接着シート

粘接着シートはLTCCやステンレス、コンクリートのほか、炭素繊維強化プラスチック(CFRP)や、ガラスなどにも適用できる。鉄道、プラント、工場、物流関連に設置される各種IoT端末に対しても「粘接着シートによる高耐久接合技術」の展開を図る。

◆本テーマの連絡先

所 属	主任研究者	連絡先・HP 情報
技術の詳細について		
一般財団法人 マイクロマシンセンター マイクロナノ・オープン イノベーションセンター	福本 宏	〒305-8564 茨城県つくば市並木 1-2-1 国立研究開発法人産業技術総合研究所つくば東事業所4G棟 TEL : 029-886-3471 Email:h_fukumoto@mmc.or.jp http://rims.la.coocan.jp/papers/docs/201901/2019_rims_6.html
実用化・事業化について		
日本ガイシ株式会社 新事業企画室	柏屋 俊克	〒467-8530 愛知県名古屋瑞穂区須田町 2 番 56 号 TEL : 052-872-8686 Email:t-kasiwa@ngk.co.jp http://rims.la.coocan.jp/papers/docs/201901/2019_rims_6.html

技術委員会メンバーのコメント



インフラ維持管理・更新等の社会課題対応システム開発プロジェクト プロジェクト・リーダー

油田 信一

学校法人芝浦工業大学
SIT総合研究所 客員教授

本課題では、自然環境下でセンサ端末を長期間(10年間)にわたって確実に働かせるため、センサ本体のほか、無線回路、アンテナ、電池、自立電源等のセンサ端末部品をオールインワンパッケージ化することを目標として開発が行われた。

このため、特殊セラミックによる筐体形成技術、ならびに、高気密封止接合技術や取り付け・施工を容易化する粘接着接合技術が開発され、強靱性、電氣的絶縁性、光透過性等の特徴を備えたパッケージ化が実現し、センサ端末を長期に渡って安定的に動作させることが可能になった。開発されたパッケージは、センサ端末の性能を少なくとも10年間維持するための耐久性と、構造体への容易な敷設性を実現していることが評価される。また、開発にあたって、西表島の亜熱帯海洋環境下での暴露試験等が実施され、複合的な環境ストレス下において耐久性が確認されている点は安心である。

安心して長期間使えるという点が強みであり、社会的な標準仕様としていくことができると追い風となるであろう。コストを越えて「このユースケースには(世界で)このパッケージしかない」という例を示せることを期待したい。

07 センサ端末同期用原子時計の研究開発

委託先 技術研究組合NMEMS技術研究機構(国立研究開発法人産業技術総合研究所、株式会社リコー、一般財団法人マイクロマシンセンター、公立大学法人首都大学東京、国立大学法人東京工業大学、国立大学法人京都大学)

開発技術のポイント

適用環境、従来技術と課題

RIMS(Road Infrastructure Monitoring System)をはじめ、無線センサネットワークを用いた状態モニタリングでは、取得データ間の時刻の整合性や、データ通信の高信頼・高効率化のため、NTP(Network Time Protocol)などの時刻同期手法により、全てのセンサ端末を10ミリ秒以下の時刻精度で合わせている。このため、電源の確保やGNSS(Global Navigation Satellite System)信号の受信が不安定な場所への設置は困難である。

開発技術と効果

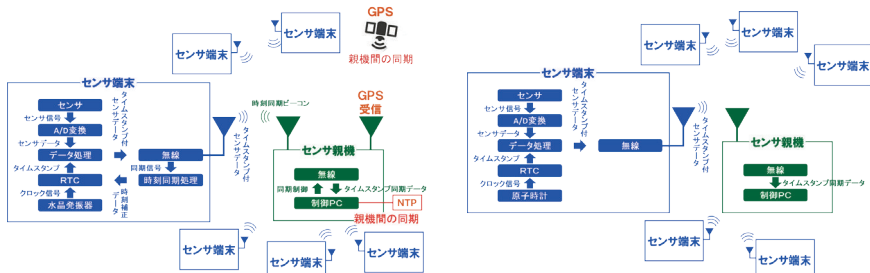
センサ端末に内蔵可能な基板搭載サイズと電池動作可能な消費電力で、時刻精度の高い原子時計を実現できれば、RIMSの普及を強力に後押しできる。具体的には、原子時計の性能の要となるガスセルとVCSEL(Vertical Cavity Surface Emitting Laser)に着目し、その性能を大幅に改善する技術を開発することにより、1年間メンテナンスフリーで10ミリ秒以下を保証する原子時計を実現した。また、RIMSへの本格的な導入には、10年間のメンテナンスフリーが求められるため、更なる高精度化を目指した将来技術も並行して進め、その技術ロードマップを策定することで、RIMSへの適用の道筋を示した。

解決する課題 ユースケース(適用場面)

橋梁や法面、道路付帯構造物などの道路インフラの状態をモニタリングする無線センサネットワークでの時刻同期に使われるGNSS信号は、非常に微弱なため、地形や天候の影響を受けやすく、その運用には多くのノウハウを必要とする。特に、GNSS信号が不安定なビル街や山岳部などでは、時刻精度を保証することが難しい。本プロジェクトで開発する原子時計をセンサ端末に組み込むことで、GNSSなどに頼らずに時刻精度を保証でき、その設置や運用の労力を大幅に低減できる。



モニタリング対象：全国に展開されている橋梁・法面・道路付帯構造物などの道路インフラ

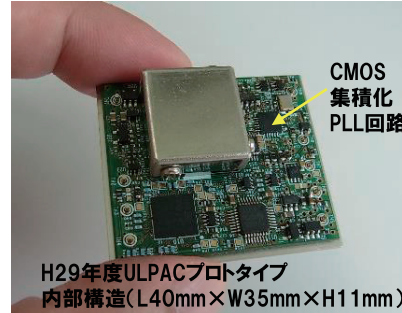


現状の無線センサネットワーク

原子時計を用いた無線センサネットワーク

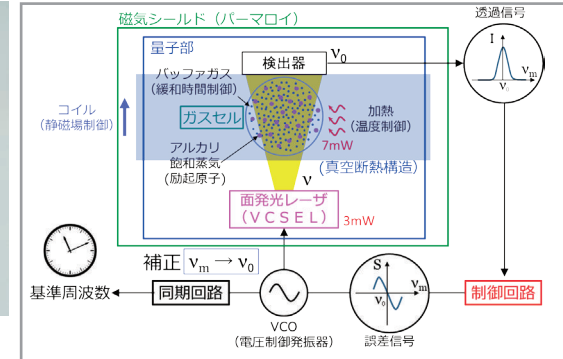
技術の概要 技術的特徴

原子時計プロトタイプの開発



H29年度ULPACプロトタイプ 内部構造(L40mm×W35mm×H11mm)

原子時計の原理

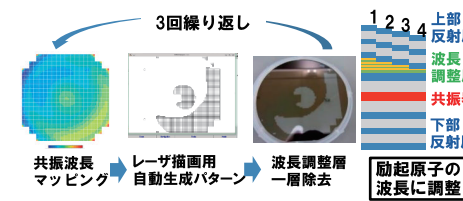


高純度ガスセル、長期安定性を可能とした最適駆動制御型面発光レーザー(VCSEL)、低位相雑音と低消費電力を両立した電圧制御発振器(VCO)、真空封止パッケージング技術により、先行する世界で唯一のチップスケール原子時計の1/2の消費電力と、5倍の時刻同期性能(10ミリ秒維持期間)の原子時計(ULPAC: Ultra Low Power Atomic Clock)を開発した。これにより、電源確保が難しい屋外フィールドでの利用が可能となった。

高純度ガスセルの開発

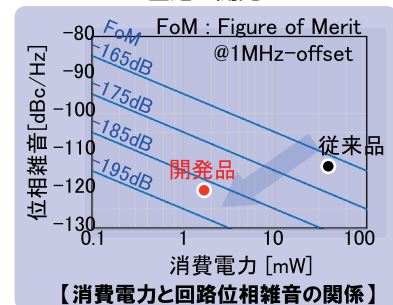


分析用ガスセルの製造技術を基に、原子時計に搭載可能なサイズの高純度ガスセルを実現し、バッファガス種とガスセル運用条件の最適化により、温度依存性や長期安定性を向上させた。



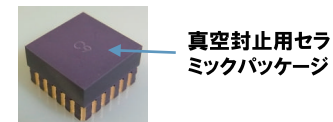
VCSEL波長調整技術による最適波長化と経時変化を低減するVCSEL駆動制御技術を確認した。

VCO及びPhase Locked Loop(PLL)回路の開発



消費電力と位相雑音の低減を両立するVCO及びPLL回路を開発し省電力化を実現した。

真空封止パッケージング技術の開発



主要諸元

外形寸法	L30mm×W30mm×H11mm
時刻精度	10ミリ秒/12ヶ月
周波数長期安定度	±3.0×10 ⁻¹¹ /月以下
消費電力	60mW
使用環境温度	-10℃～+70℃
温度特性	±5×10 ⁻¹⁰ 以下

小型化した高純度ガスセル及びVCSELを真空封止することで、原子時計の温度依存性を低減するとともに、省電力化も図った。

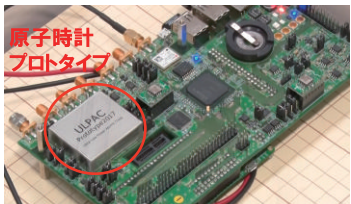
●技術の動作実績 現場実証実験状況

期間 平成 29年12月28日～平成30年12月28日
 場所 (株)リコー 応用電子研究所 屋外実験施設(宮城県名取市)

■実験の目的
 原子時計の特性に影響を与える温度変化、磁場ノイズ、振動などの外乱による影響を評価するために、屋内での環境試験(温度、磁場)と、屋外環境にプロトタイプを設置して長期間の実証を行うことで、連続稼働での課題を抽出し、その対策を施すことで、実用的な原子時計とする。

■実験の状況
 屋外の4カ所に原子時計プロトタイプを設置し、長期的な安定性や時刻精度を評価した。

屋外環境での評価装置



GPSを基準とした時刻精度評価と温度や振動を記録するモジュール

屋外設置環境



走行車両による振動や電磁ノイズが大きい環境(設置場所①)



太陽光による温度変化が大きい環境



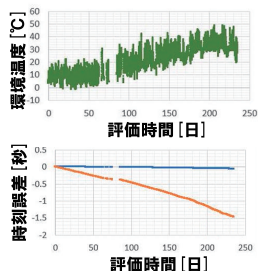
建屋設備からの振動や電磁ノイズが大きい環境



走行車両や建屋から離れた比較用の環境

■結果レポート

屋外での4カ所の設置場所に設置した原子時計プロトタイプのうち、最長の連続稼働実験(12ヵ月、設置場所①)を行っているH28年度プロトタイプでは、109ミリ秒/12ヵ月の時刻精度を得ている。目標とする10ミリ秒/12ヵ月より一桁大きくなっている原因が、VCSELの励起光変動にあることを解明し、考案した解析モデルを基に、長期間の安定駆動を可能にするVCSELの最適制御法を開発した。この最適制御法を適用したH30年度プロトタイプを、恒温槽内(30℃)で107日間連続稼働し、最終目標を大幅に上回る10ミリ秒を1200日間維持可能な性能を確認した。これと同様に最適制御法を適用したH30年度プロトタイプを屋外連続稼働実験に投入し、恒温槽内と同等の時刻精度を示していることから10ミリ秒/365日の目標を達成したと言える。



屋外環境温度の水晶発振器と原子時計が刻む時刻への影響

●実用化・事業化に向けた見通し・取組み

■開発品の現状分析

原子時計プロトタイプの開発と評価を通じて、長期安定度と低消費電力を実現するための基本技術を確立できている。長期的な周波数の安定性に影響を及ぼす要因のモデル化と対策を検証できている。また、低消費電力を実現するPLL回路を開発できている。今後は、特性のばらつきや信頼性を確保して量産化を実現するための生産技術開発が必要である。

■実用化・事業化に向けた見通し

道路インフラモニタリングシステムに適用するだけでなく、時刻同期を必要とするさまざまな領域においてもニーズがあると考えられる。特に、GNSS信号の取得が難しい環境において有用性が高いと考えている。また、5G通信のインフラ整備で急速に販売数を伸ばしたRb原子時計に対して、本プロジェクトの開発スペックは消費電力・時刻精度ともに凌駕しており、その市場への参入を視野に入れている。さらに、地震発生時にビルの安全性を診断する構造物モニタリングにおけるセンサ間の時刻同期や、先行するMicrosemi社CSACが投入され始めている海底資源探査に使用する海底地震計の時刻精度保持などを具体的な民生用途として期待している。普及して価格が下がれば、さらに市場が開けると見込んでいる。

■実用化・事業化に向けた取組み

実用化サイクルを効率的かつ効果的に回すために、開発品及び生産技術開発の取組みを行い、実用化領域まで完成度を高めるとともに、最初のターゲットとなる市場を絞り込み、市場形成を試みる。また、本プロジェクトでは原子時計プロトタイプに搭載した基盤技術にとどまらず、RIMSへの適用に向けた将来技術への取組みでも成果を挙げており、それら成果を組み入れた新たな原子時計構築法の開発を進めている。さらに、H37年度を目標に時刻精度で2桁、消費電力で2桁の高精度化された原子時計の実用化の検討を進めると共に、その性能に見合った新たな市場も探索する。

◆本テーマの連絡先

所属	主任研究者	連絡先・HP情報
国立研究開発法人 産業技術総合研究所 計量標準総合センター 物理計測標準研究部門 高周波標準研究グループ	柳町 真也	〒305-8563 茨城県つくば市梅園 1-1-1 中央第3 TEL : 029-861-4013 Email:s.yanagimachi@aist.go.jp http://rims.la.coocan.jp/papers/docs/201901/2019_ulpac_1.html

技術委員会メンバーのコメント



インフラ維持管理・更新等の社会課題対応システム開発プロジェクト 技術委員

大和田 邦樹

一般社団法人
次世代センサ協議会
専務理事

消しゴムサイズの小型原子時計が開発された。小型・軽量・省電力であり、屋外での使用に耐える環境耐性を持つデバイスが開発されたことは大きな成果である。

プロジェクト開発時(2015年)には、げんこつサイズで、消費電力も1.5Wと大きかったが、これを本プロジェクトにより、消しゴム大(30mmx30mmx11mm)で、消費電力を60mWまで低下させたことは素晴らしい。今後の開発では、2025年までにキャラメルサイズ(15mmx15mmx5mm)で消費電力1mWに低減させ、時間精度も1ケタの向上を見込んでいる。この性能が実現すると、センサ端末のケースに内蔵可能であり、同様に自己発電で動作可能となり、実用性が向上するものと見込まれる。

技術開発面では現状でも一定のレベルに到達していることが認められるがRIMS(道路維持管理システム)に適用するには更なる開発が期待される。小型軽量性を活かして広い応用分野が期待できることから、可搬計測器等への適用も並行して進めるべきと思われる。

現時点においてもある程度の産業応用が期待される成果であるが、社会現場で活用できるかどうかは、これからの後継プロジェクトでの活動にかかっている。今後のさらなる精力的な開発により、社会を一新する基盤技術として普及することが待ち望まれる。

08 ライフラインコアモニタリングシステムの研究開発

委託先 国立研究開発法人産業技術総合研究所、一般財団法人マイクロマシンセンター、明星電気株式会社、沖電気工業株式会社、高砂熱学工業株式会社、国立大学法人東京大学(再委託)

開発技術のポイント

適用環境、従来技術と課題

都市インフラ(ライフライン)で特に公共性の高い病院、地域エネルギー供給システムの中核(コア)となるポンプ、発電機、圧縮機等の回転機器は、経験に基づく非定常な目視・聴音点検が主体であることから、劣化の兆候を検知することが難しい。また、故障の有無に関係なく一定の時間間隔でメンテナンス・部品交換を実施する「時間基準保全」のため、保全コストの低減が課題となっている。

開発技術と効果

振動発電によるセンシング方式と低消費電力(10年間電池交換不要)マルチホップ無線通信により、従来のシステムに比べ導入コストを格段に低く抑え、かつ監視ポイントの増減などの現場状況の変化への柔軟な対応を可能とする振動のモニタリングシステムを開発した。更に異常振動固有の周波数情報だけを収集するP型(ペットボトルキャップサイズ)センサ端末を開発し、複雑かつ膨大なログ解析を必要とせずに、異常検知を可能とした。

解決する課題 ユースケース(適用場面)

解決する課題

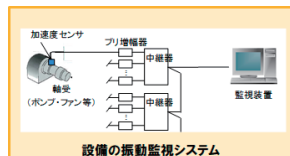
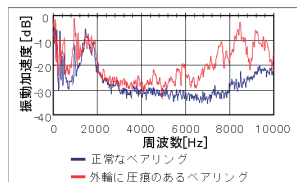
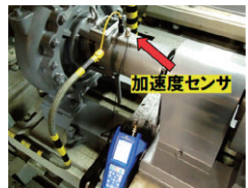
- エネルギー供給施設の心臓部にあたる回転機器は、数か月毎の定期点検、数年毎の精密検査、日常は保守員が振動音や機器温度を確認する必要があり、高負担
- 振動値の傾向管理、周波数解析による異常原因推定が必要
- 有線モニタリングシステムの課題:敷設コストを含め100点程度のモニタリングシステムで1000~2000万円と高額
- 無線ネットワークシステムの課題:センサ端末の電池交換によるメンテナンスコスト増大、遮蔽物・電磁波発生環境での通信性能の低下

課題解決のための取組み

- 限られたデータ量でモニタリングを可能にする技術を開発
- 限られた発電量で自立動作する低コスト端末の開発
- 低コスト・低消費電力の高信頼性無線ネットワークシステムの実現
- 上記の技術で設置コストを含め100点程度のモニタリングシステム価格を従来の1桁安価を目指す

ユーザ機関のメリット

- 設備の稼働率向上・・・バックアップ機器が不要になる
- 保全費用の削減・・・軸受け保全間隔が、メーカー推奨間隔(3年ごと)から軸受け寿命(30,000~40,000稼働時間)に延長可能

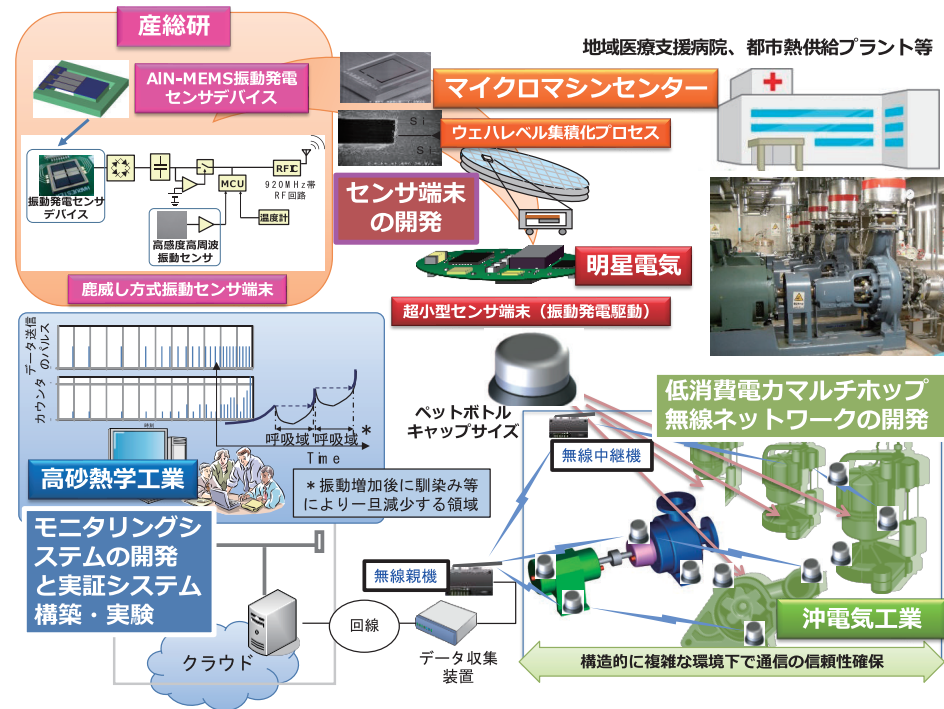


技術の概要 技術的特徴

研究開発項目

- 低周波数域振動発電センサデバイス、鹿威し方式*自立発電センシング方式の開発
- 振動発電センサデバイスの低コスト化・量産技術の開発
- 耐振性端末実装構造、低コスト設置方法、信頼性試験方法の開発
- 時刻同期型の省電力通信方式、再送を伴わない衝突回避制御方式を有するマルチホップ通信技術の開発
- 圧電振動発電センサデバイスを用いた監視技術、シームレスに処理するモニタリングシステムの開発

*鹿威し方式:蓄電キャパシタの電力が閾値を超えるとデータ送信し、送信間隔の変化で振動状態の変化を捉える方式



主要諸元

振動または変位+温度計測機能	圧電電型振動センサ+半導体温度センサ
1回/時以上の無線通信	10分に1回程度の非同期送信可(鹿威し方式)
自立電源動作	センサの振動発電のみで動作(端末消費電力:5μW以下)
地震等の突発事象検出	センサデータ収集端末(センサ端末受信/マルチホップ中継端末送信機)に搭載(震度5相当の地震で動作)
端末サイズ:概ね7cmx10cmx5cm以下	ペットボトルキャップサイズ(□30mmx高さ25mm)
無線通信:免許不要、通信距離30m以上	920MHz特定小電力、直接30m以上通信できる箇所に適用
メンテナンス・レイアウトフリー無線ネットワーク	電池2本(5000mAh)で10年間データ送受信可能なマルチホップ無線中継機

●技術の動作実績 現場実証実験状況

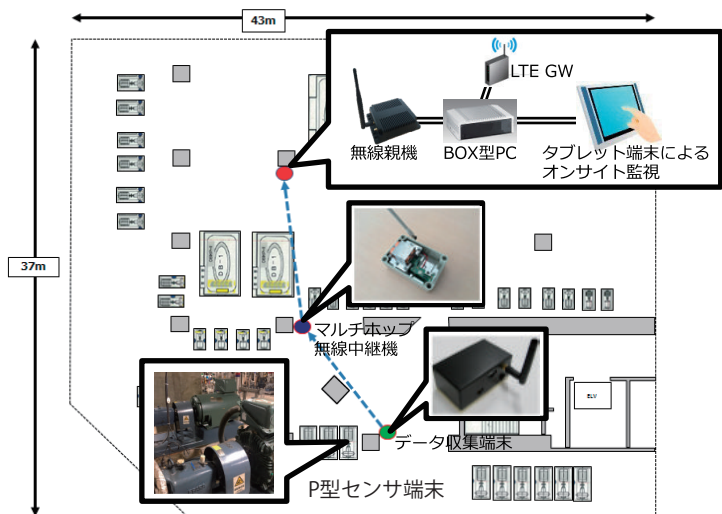
期間	平成30年6月～平成31年1月
場所	東京都サービス株式会社 晴海アイランド地区熱供給センター

■実験の目的

- ・大型、かつインバータ電源の機器が密集している機械室での無線による振動監視
- ・常駐管理の施設において、振動監視に基づく保全計画を試行
- ・マルチホップ無線中継機の省電力無線特性の実環境での確認

■実験状況

モニタリング対象ポンプへのP型センサー設置、920MHz帯無線マルチホップネットワーク、モニタリングシステムを構築し、実環境での振動監視によるシステムが正常稼働することを検証した。



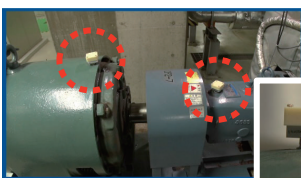
■結果レポート

M型中継機の動作回数(1回/3分、1台のデータ収集端末からのデータを1ホップで中継する場合)と放電容量の実測から、小型電池2本(5000mAh)で10年間動作可能であることを確認した。

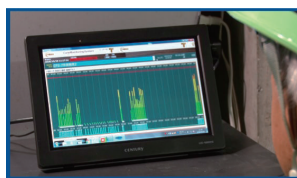
マルチホップ無線中継機稼働状況(測定期間:2018年6月18日から10月26日までの130日間[3120時間]連続動作)

動作	イベント	消費電流 実測値(mA)	130日間の 実機動作時間(s)	130日間の 放電容量(mAh)	10年間の 放電容量(mAh)
SLEEP時	SLEEP	0.009	3115.50	28.04	787.26
	定期起動(周期2秒)	17.81	2.93	52.09	1462.65
データ 送受信時	データ送信	31.68	0.53	16.87	473.61
	データ受信	20.55	0.53	10.94	307.25
制御通信 動作時	Hello	30.40	0.49	14.81	415.88
	RREQ	26.16	0.03	0.70	19.56
合計				3466.21	

電池効率
70%で試算
しても10年
間の放電容
量を達成



ポンプへのP型センサ端末設置の様子



鹿威しデータの発生頻度から異常振動を気付付き、保全計画の情報として役立てる。

システムの設置が想定される現実の環境で実証実験することで、振動監視による設備保全監視システムの実用性を確認した。

●実用化・事業化に向けた見通し・取組み

(1)実用化・事業化を行う製品・サービス等の概要

- センサ端末(明星電気(株)):①センサ端末、モニタリングシステムの製品化
- 中継機・ネットワークシステム(沖電気工業(株)):②無線親機、③M型中継機、ネットワーク管理機器の製品化
- モニタリングシステム(高砂熱学工業(株)):クラウド型振動監視診断システム(①振動センサ端末、②無線親機、③M型中継機、クラウドシステム等で構成)の販売、有償診断サービスの提供

(2)実用化・事業化への取組み

■振動センサ端末・ネットワークシステム: PJ終了後、平成31年度に商用設計を行い、平成32年度サンプル出荷、平成33年度より量産開始予定。

■モニタリングシステム: PJ終了以前から事業化検討を開始し、システムの汎用化やクラウド環境の構築を検討、平成32年度センサ端末のサンプル出荷を踏まえてトライアル販売の後、平成33年度より本格販売および有償診断サービスを予定

◆本テーマの連絡先

所 属	主任研究者	連絡先・HP 情報
振動センサ・振動発電 デバイスについて		
国立研究開発法人 産業技術総合研究所 集積マイクロシステム 研究センター	武井 亮平	〒305-8564 茨城県つくば市並木 1-2-1 TEL : 029-861-8390 Email:r.takei@aist.go.jp https://unit.aist.go.jp/umemsme/ci/teams/siss.html
デバイス量産プロセス・パッケージ技術について		
一般財団法人 マイクロマシンセンター MNOIC 開発センター	太田 亮	〒305-8564 茨城県つくば市並木 1-2-1 TEL : 029-886-3471 Email:r_otha@mmc.or.jp http://mnoic.la.coocan.jp/
センサ端末について		
明星電気株式会社 気象防災事業部 防災グループ	三澤 浩之	〒372-8773 群馬県伊勢崎市長沼町 2223 TEL : 0270-32-8773 Email:misawah@meisei.co.jp http://www.meisei.co.jp/
中継機・ネットワークシステムについて		
沖電気工業株式会社 経営基盤本部 研究開発センター スマートネットワーク技術研究開発部 無線ネットワーク技術チーム	川本 康貴	〒541-0051 大阪府大阪市中央区備後町 2-6-8 サンライズビル 9F TEL : 06-6260-0700 Email:kawamoto728@oki.com https://www.oki.com/jp/
モニタリングシステムについて		
高砂熱学工業株式会社 事業革新本部 イノベーションセンター 技術研究所	柴田 克彦	〒243-0213 神奈川県厚木市飯山 3150 TEL : 046-248-2752 Email:katsuhiko_shibata@tte-net.com https://www.tte-net.com/

技術委員会メンバーのコメント



インフラ維持管理・更新等の
社会課題対応システム開発
プロジェクト 技術委員

河西 龍彦

宮地エンジニアリング株式会社
執行役員 千葉工場生産管理部長

この開発技術は、モーターやポンプなど都市インフラで多用されている設備を対象とし、点検の効率化と寿命前に予防的交換せざるをえないという具体的な課題にローコストで対処できる効果的な技術である。具体的には「鹿威し(ししおどし)」方式を無線伝送に應用する画期的発想により大胆にコストを削減できている点が評価できる。

適用場面を明確に設定し、現場ニーズにも応えていることを確認した。技術は目標通りの精度・機能が概ね実現しており、着実に実験データも得られている。病院やダムなどのさまざまな場所での実証に成功しており、実用化について検討が進んでいると認められ、広い応用分野での活用が期待される。さらに、今回設定した適用設備や適用環境以外にも広く予防診断にも広がる可能性があるかと期待できる。今回開発された方式は、配線型の従来システムに比較して機能・性能を割り切って設定しているが、多くの動力機器の維持管理にとって容易に利用可能で、低コストの設置・運用を実現しうるものである。今後、広い範囲での無人定常モニタリングとしての活用が期待される。

高信頼性センサによる インフラモニタリングシステムの研究開発

委託先 横河電機株式会社 (再委託先) 長野日本無線株式会社、大成建設株式会社、国立大学法人東京大学

開発技術のポイント

適用環境、従来技術と課題

公共性の高い建築や生産施設の拠点となるビルを対象とする。地震発生時に震度を表示するシステムはあったが、平常時の常時微動のモニタリングおよび地震発生等の非常時に、速やかに定量的かつ客観的な評価基準で構造物への入室を確認できるシステムが少なかった。

開発技術と効果

開発したセンサは、サーボ型センサと同等の性能・耐久性を有した高信頼性MEMS型センサである。このセンサにより、平常時の微振動観測から長期的なトレンド^{*1}変化を監視するとともに、地震発生等による非常時の大きな振動観測から構造物の短期的なトレンド変化も評価することが可能になった。その結果、目視では確認しづらいインフラ構造物内部の状態が確認でき、構造物の使用継続の可否が判断できる支援ツールとなった。

*1 柱・はりや床などの剛性や振動数の変化など

解決する課題 ユースケース(適用場面)

常時^{*2}および非常時^{*3}の損傷を受けた公共性の高い建築や生産施設などが対象

■ユーザーニーズ

- 地震等による構造物の健全性の確認
- 余震による被害の最小化
- 地震等発生後の復興を迅速に進めたい
- 予防保全としての計画的な耐震補強

■現況の社会的課題

- 長期間のメンテナンス体制が難しい
- 大規模災害時に構造物診断の作業が集中するため、時間を要する
- 人による評価の食い違い
- 外観目視・層間変形角計測などに限られるため、調査件数の限界

■対策

構造物内部にセンサを設置、内部状況(接合部、柱・はり母材)を常時監視し、この計測結果から構造物の長期的な経年変化および短期的な健全性診断を評価

■方針

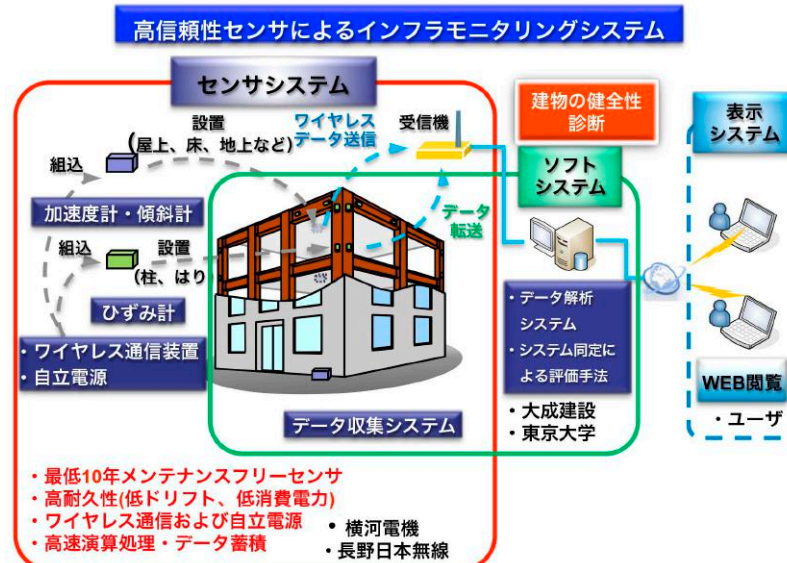
構造物の機能維持を担保するため、センサ信号の長期的および短期的なトレンド変化を計測し、迅速にインフラ構造物の内部状況を開発したモニタリングシステムにより客観的に診断を行う。その結果、被災時の調査構造物の対策の優先順位付けが迅速に可能になる。

*2 常時: 小さな揺れ(概ね震度2以下)

*3 非常時: 大きな揺れ(概ね震度3以上: 強風時も含む)

●技術の概要 技術の特徴

人間に定期健康診断があるように、構造物にも健康診断を適用することで使用継続可否の判断を目的としたインフラモニタリングシステムを開発した。構造物は温度、環境振動(電車・車)や自然災害(地震・強風)により、常に揺れ(振動)している。この振動現象を信頼性の高いセンサとワイヤレス技術を使ったセンサシステムで長期間モニタリングすることで、構造物の使用継続を客観的に評価するソフトシステムを開発し、構造物の使用継続可否判断の支援ツールとした。



主要諸元

センサ構造	センサ種類	センシング対象	検出方法	目標仕様
単結晶シリコンを加工した、ひずみを検出する振動式センサ(MEMS)	ひずみ計	柱・梁等のひずみ(変位)	構造物の柱・梁等に生じるひずみによってセンサへ加わるひずみの変化を、振動子の共振周波数変化として検出	測定感度: ±1με以下 測定範囲: 5000με 温度範囲: -10~50°C
	加速度計	構造物の振動・加速度	構造物に生じる加速度によってセンサへ加わるひずみの変化を、振動子の共振周波数変化として検出	検出感度: 1μG以下 測定範囲: ±2G 温度範囲: -10~50°C
		構造物の傾斜(変位)	振動(加速度)の直流成分変化を検出	傾斜分解能: 0.01°以下
ワイヤレス通信装置			周波数帯: 920MHz 室内伝搬距離: 100m以内 発電電力: 2.2Wh/年 ※ 通常の室内環境で運用可能	
自立電源	太陽電池による自立電源モジュール		発電電力: 2.2Wh(送受電距離5cm、充電時間5分) ※ 1回/年の充電で運用可能	
	ワイヤレス給電モジュール		充電電力: 2.2Wh(送受電距離5cm、充電時間5分) ※ 1回/年の充電で運用可能	
データ収集システム			常時監視時: 1時間に1回10秒間データ収集 非常時: 緊急地震速報および、地震計震度3以上をトリガで3分間データ収集(最大9分間) 表示分解能: 24bit	
データ解析システム			一次診断: 非常時の加速度データから層間変形角を算出し、設計クライテリアと比較	
システム同定による建物の詳細な損傷評価手法			二次診断: 逐次部分空間法によるシステム同定により、非常時の建物の固有振動数・剛性の時間的変化から損傷を推定	

●技術の動作実績 現場実証実験状況

期間 平成30年2月17日(土)～平成31年3月31日(日)予定

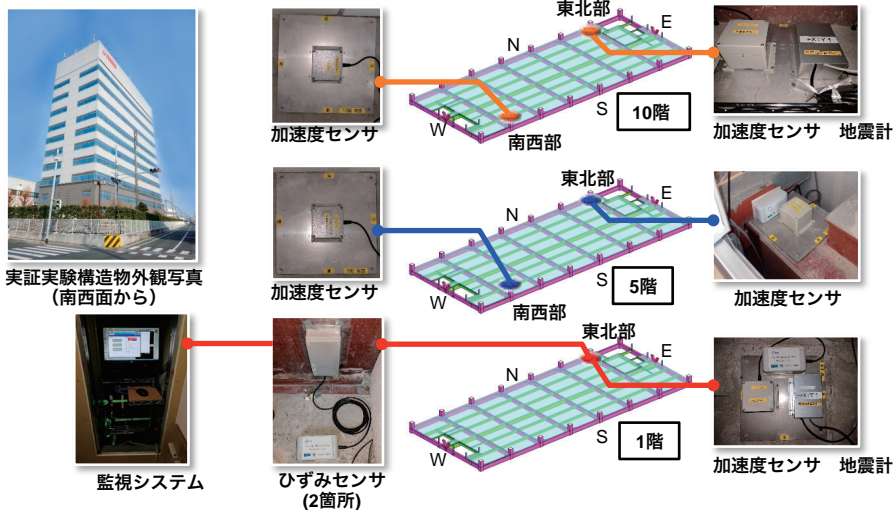
場所 Y社ビル(静岡県磐田市)

■実験の目的

実務環境において、常時微動データをモニタリングすることにより、構造物の状態把握を行うとともに、地震発生時にはセンサーデータを解析して健全性の診断を行う。

■実験の状況

地上10階、地下1階(高さ48m、長辺49m、短辺20m)SRC造の構造物に加速度センサ5台、ひずみセンサ2台、地震計2台セット



■結果レポート

大阪府北部地震(2018年6月18日)観測結果の例

最大層間変形角の算出結果が、設計クライテリア1/200以下(建築基準法より)であるため、建物の健全性が確認された。

各センサ位置における震度

位置	計測震度	震度
1階(北東部)	1.4	震度1
5階(南西部)	2.4	震度2
5階(北東部)	2.4	震度2
10階(南西部)	2.8	震度3
10階(北東部)	データ収集不具合により震度計算値無し	

各センサの最大変位(上段: 正值、下段: 負値)

	南西部			北東部		
	東西方向 (mm)	南北方向 (mm)	上下方向 (mm)	東西方向 (mm)	南北方向 (mm)	上下方向 (mm)
1階	センサ未設置のためデータ無し					
5階	+1.36 -1.22	+1.02 -1.11	+0.17 -0.23	+1.27 -1.13	+1.03 -1.02	+0.15 -0.17
10階	+2.76 -2.89	+1.65 -1.84	+0.21 -0.26	データ収集不具合により変位 計算値無し		

最大層間変形角

	東西方向	南北方向
	1階～5階間	1/14470
5階～10階間	1/10467	1/15404

層間変形角:
構造物の上層階の床と下層階の床の水平方向の変位を、床と床の間の高さで割った値

現実の建物を使用した実証実験の結果、今回開発した設置性の高いセンサによって地震データを精度よく計測できることが確認できた。また、遠隔地でのモニタリングにも成功した。これにより、被災時の建築物の健全性診断を迅速に行えることが実証できた。

●実用化・事業化に向けた見通し・取組み

■事業化に向けた見通し

“全国地震動予測地図2018年度版”によると、太平洋ベルト地帯を中心に今後30年間に震度6弱以上の揺れに見舞われる確率が高く示されている。

2011年3月11日の東日本大震災の際にも首都圏では515万人の帰宅困難者が発生し、帰宅困難者を受け入れる施設の不足が明らかになった。東京都では、帰宅困難者対策条例が制定され、建物の管理者は発災時には施設の安全確認を速やかに行い、帰宅困難者の建物内への待機に備えなければならないとされている。企業は、BCPの観点から、早期に復旧作業を開始するために、建物に入れるかどうか早く判断しなければならない。しかし、現状では専門家による応急危険度判定が必要で、膨大な時間と労力を要している。このような背景から、建物の健全性評価をリアルタイムに行い、発災時直後の建物の使用継続可否を即時に判定する本システムは、社会的なニーズがあり、一定規模の市場が拓けると見込んでいる。

■事業化に向けた取組み

震災におけるBCP対策の高まりに応えるべく、加速度計、ひずみ計および傾斜計の量産体制の取組みや、常時・非常時による構造物の健全性を迅速に行える診断システムの製品化を優先して検討したい。

◆本テーマの連絡先

所属	主任研究者	連絡先・HP情報
横河電機株式会社 IA-PS 事業本部 半導体応用開発センター	吉田 隆司	〒180-8750 東京都武蔵野市中町 2-9-32 TEL: 0422-52-5965 Email: Takashi.Y@jp.yokogawa.com https://www.yokogawa.co.jp/

技術委員会メンバーのコメント



インフラ維持管理・更新等の社会課題対応システム開発プロジェクト 技術委員

三田 彰

慶應義塾大学
理工学部
システムデザイン工学科
教授

この建造物健全性診断技術の診断対象のビルは、およそ10階建て以上の鉄筋コンクリートあるいは鉄骨造りの直方体形状の構造との設定で、普遍的な建造物であるため広く活用が見込まれる。層間変形角が結果的にどの程度であったかを指標とするのは建築分野で一般的に適切とされており、基本的に忠実で実用的である。

使用するセンサデバイスは開発メンバーが自社で製造するMEMS技術を応用したもので、小型軽量でエネルギー消費の少ない優れたものである。このセンサの性能については建造物の構造モデルを使用して検証していることを確認できた。

実証実験は中部地方のSRC造10階建てビルで実施された。センサは無線伝送式であり、設置コストが小さいことが推察できた。電波環境が悪い構造体部からの伝送であっても大きな問題は生じなかった。各フロアの観測データを遠隔の計測センターで観測可能なことを確認し、実用的な伝送が実現できている事を評価したい。

一方、長期モニターは建物の個性が強いため、プロによる診断が必須となる。そうした人材を張り付けておくことは困難なので、サステナブルな体制の確立がキーポイントになろう。

ライバルはきわめて多い。先行している会社も多数。どこで差別化するか手腕が問われる。今後、製品化を計画中とのことであるが、開発成果が早期に社会で活用されることが期待される。

道路橋の維持管理及び防災・減災を目的としたセンサシステムの研究開発

委託先 日本電気株式会社、一般財団法人首都高速道路技術センター

開発技術のポイント

適用環境、従来技術と課題

予算や橋梁管理の土木技術者の不足などによりメンテナンスサイクルが回らない状況が顕在化している。また、地震時等災害時において被災状況の迅速な把握が困難となっている。

開発したセンサシステムは「定期点検の間5年間の損傷進展把握」及び「災害時における迅速な変状把握」を解決することを目的としている。「振動センサによる卓越振動数の変化」及び「変位センサによる支承部変位」により橋梁の損傷進展及び災害時での変状検知を可能とする。

開発技術と効果

- ① 特定小電力無線(920MHz)によるセンサネットワーク
- ② コンパクトなセンサ端末(100×48×25.5mm)
- ③ 自立発電装置(太陽光発電)による電源供給
- ④ 検知可能変位量±50mm、精度0.02mmの変位センサ
- ⑤ 監視局サーバから計測時間、計測間隔の設定
- ⑥ 遠隔からのセンサ端末のソフトウェア更新



解決する課題 ユースケース(適用場面)

(1)対象橋梁：橋長15m以上の単純桁橋で健全度判定区分が「Ⅲ：早期措置段階」以上の橋梁（橋長15m以上の橋梁の約50%が単純桁橋）

理由：① 損傷による振動特性の変化が発現しやすい「単純桁橋」を対象

② 判定区分Ⅲ以上の道路橋が補修等措置されるまでの期間の損傷進展を監視

	合計	床版橋	桁橋	トラス橋	アーチ橋	ラーメン橋	斜張橋	吊橋	その他
箇所数	165,322	32,342	122,792	1,814	2,582	4,354	317	883	238
比率%	100	19.6	74.3	1.1	1.6	2.6	0.2	0.5	0.1
延長(m)	10,612,478	1,386,132	8,093,575	258,212	277,638	410,420	92,610	87,241	6,650
比率%	100	13.1	76.2	2.4	2.6	3.9	0.9	0.8	0.1

出典：道路統計年報 2014

(2)モニタリングの対象：通行規制橋梁において、上部構造の損傷要因は「①床版の損傷」「②鋼材の腐食」「③コンクリート桁のき裂・剥離」及び「④支承の破損・劣化」が多い。

橋梁の剛性に影響を与える②③の損傷について、振動センサ卓越振動数の変化により損傷進展を検知し、④の損傷について変位センサ計測値の異常により検知する。

	現行の点検の特徴	ユーザーニーズ
平常時	(定期点検) ・5年に1回の頻度の近接目視点検 ・近接目視による損傷箇所周辺の情報収集による劣化状況と損傷原因の把握	①定期点検の間5年間の損傷進展把握 ・急激な劣化進行の把握 （特に健全度Ⅲ（早期措置段階）の橋） ・劣化進行のデータ化 ②定期点検の補強 ・損傷データの客観性向上 ・目視点検困難箇所の変状把握 ③補修補強対策後の効果確認
大地震などの災害時	(緊急点検：災害後1～2日) ・即時性に劣る。 ・点検時に応急復旧対策立案（既存システム） 地上：巡視点検、CCTV 上空：ヘリテレ映像、衛星画像	①災害時における迅速な変状把握 ②余震等の状況下における連続的な状況把握

技術の概要 技術的特徴

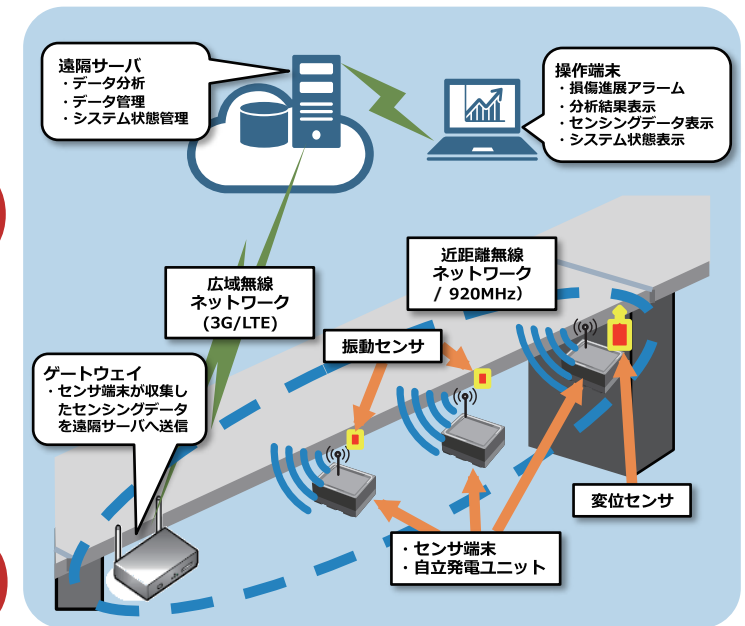
センサシステムの概要

開発したセンサシステムは5年毎の定期点検と連携して運用。

定期点検で見つかった橋梁の剛性に影響を与える損傷に対してモニタリングを実施。



損傷写真出典：国総研資料第758号、道路橋の定期点検に関する参考資料（2013年版）



主要諸元

センサ端末	<ul style="list-style-type: none"> ・近距離無線(920MHz)によりゲートウェイに送信 ・自立発電装置(太陽光発電)により外部電源無しで運用可能 ・監視局からセンサ計測周期/計測時間の設定変更が可能 ・コンパクトな大きさ:L100×W48×H25.5mm
変位センサ	<ul style="list-style-type: none"> ・0.02mmの精度で±50mmの変位量を計測可能 ・シングルコイル方式によりコスト低減と信頼性向上を実現 ・自立発電での運用を考慮した低消費電力設計
ゲートウェイ	<ul style="list-style-type: none"> ・最大25台までのセンサ端末を集約管理し、遠隔サーバにデータを送信 ・センサ端末の制御機能を有し、センサ端末の状態管理/ソフトウェア配信が可能
遠隔サーバ	<ul style="list-style-type: none"> ・収集したセンサデータを蓄積し、外部システムからの参照を可能とする汎用API機能を実装(データ管理機能) ・振動センサデータを分析し、卓越振動数を抽出するデータ分析機能及び卓越振動数の変化検出機能を実装 ・時系列データの可視化・分析結果のグラフ表示等の機能を実装

●技術の動作実績 現場実証実験状況

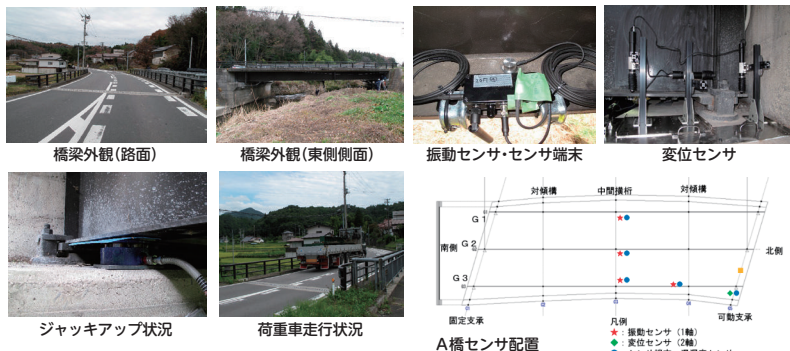
日付/期間	常時モニタリング：平成29年12月1日～平成30年12月31日 振動特性強制変化実験：平成30年9月12日(水)
場所	A橋(福島県郡山市)

■実験の目的

1. 1年間の計測による卓越振動数の抽出方法及び卓越振動数の温度依存性補正方法の検証
2. 可動支承部付近のジャッキアップによる開発したセンサシステムの変状検出機能を検証

■実験の状況

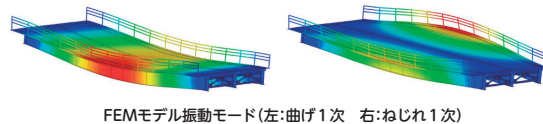
福島県郡山市A橋(鋼単純桁橋:橋長20.25m)に、橋梁の曲げ振動、ねじれ振動を捉えるため振動センサを4か所、可動支承の水平・回転移動量を計測するため1可動支承に変位センサを3か所設置した。振動特性強制変化実験では荷重車(4ケース各4回走行)及び一般車(各ケース90分間)について計測した。



■結果レポート

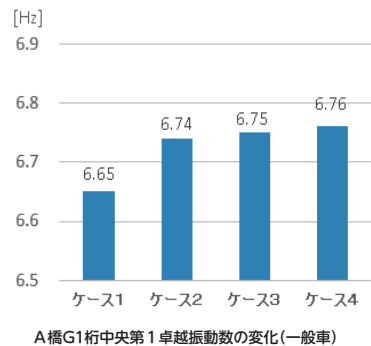
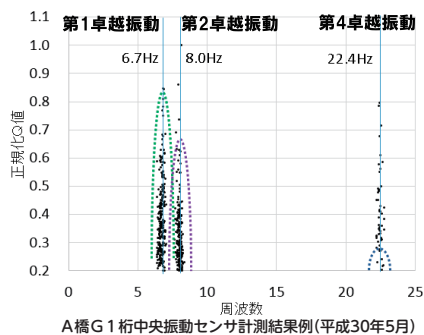
1. 常時モニタリング

- ① ノイズ除去・低減により標準偏差が低い第1卓越振動数から第4卓越振動数までの値を抽出できた。
- ② 抽出した卓越振動数とFEMモデルによる固有振動数とはほぼ同等であり、FEMモデルによるシミュレーションの有効性を確認した。
- ③ 抽出した卓越振動数の桁温度依存性を確認し、キャリブレーションすることで検出精度を向上させた。



2. 振動特性強制変化実験

- ① 可動支承部3か所を順次ジャッキアップし卓越振動数の変化を計測した。(ケース1:現状、ケース2:1桁ジャッキアップ、ケース3:2桁ジャッキアップ、ケース4:3桁ジャッキアップ)
- ② 荷重車と一般車の卓越振動数はほぼ一致し、一般車によるモニタリングの有効性を確認した。
- ③ ジャッキアップ箇所が増えるに伴い第1卓越振動数(曲げ1次)が上昇した。桁剛性に影響を与える損傷の発生・進展を卓越振動数の変化として検知できることを確認した。
- ④ 実験結果から下記の橋梁モニタリングの有効性を確認した。常時:振動センサデータから抽出した月単位での卓越振動数の変化を監視し、閾値を超えた場合は支承変位データ評価を含めて道路管理者に通知する。地震等災害時:支承変位データ及び車両走行による卓越振動数の評価により、閾値を超えた場合は道路管理者に通知する。



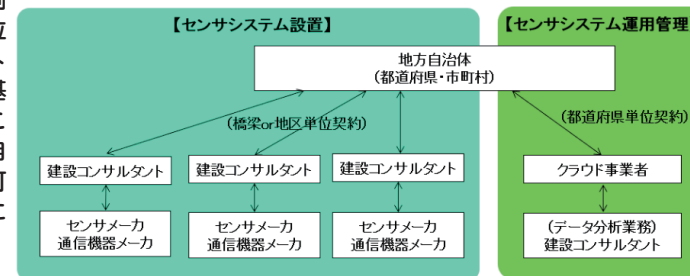
●実用化・事業化に向けた見通し・取組み

■実用化・事業化に向けた見通し

- ① 道路橋センサシステムの運用管理は共通プラットフォーム(クラウド基盤)での集中管理が効率的である。このため、実用化・事業化は「センサシステム設置」と「センサシステム運用管理」に区分される。センサシステムの設置は建設コンサルタントが、センサシステムの運用管理はクラウド事業者が担うことを想定している。
- ② 実用化において、日本電気が「センサシステム設置」でのハードウェアの提供及び「センサシステム運用管理」での損傷検知ソフトウェアの提供を、首都高速道路技術センターがモニタリングシステムの設置・運用企画の提供を想定している。販売予定時期は2020年である。

■実用化・事業化への取組み

- ① 全国的なセンサシステムの普及のためには、センサ・通信技術、運用方法(計測対象別計測頻度、管理者への報告・異常通知方法)の標準化が必要となる。標準化に向けて取り組む。
- ② 地方自治体での計測データ処理は広域単位での共通プラットフォーム(クラウド基盤)においてなされる必要がある。地方自治体に対して事業化可能なビジネスモデルに取り組む。



◆本テーマの連絡先

所属	主任研究者	連絡先・HP情報
日本電気株式会社 デジタルサービス ソリューション事業部	佐藤 正	〒108-8556 東京都港区芝四丁目14-1 第二田町ビル TEL: 03-3798-8027 Email:t-satoh@db.jp.nec.com https://jpn.nec.com/

技術委員会メンバーのコメント



インフラ維持管理・更新等の社会課題対応システム開発プロジェクト・マネージャー

安川 裕介

国立研究開発法人
新エネルギー・産業技術総合
開発機構 主査

センサ端末は自立電源式の手のひら大モジュールが完成しており、実証実験ではそれが適切に設置され確実にデータを取得できている事を確認した。健全度Ⅲの橋梁を対象とし、損傷の進展を監視する実用化方針は良いと考えられる。卓越振動数の観測により3σの中で劣化度が評価可能なことを見出したことは評価できる。実証実験では支承劣化を想定し、卓越振動数の変化を観測したところ想定通りの変化の観測に成功している。使用中の実橋を使用での模擬損傷実験はこれまでに例が無く、非常に貴重なデータ取得の機会になったと思われる。さらに、橋梁の自由振動を観測するには、荷重車による励起後、車両通過時の複雑な励振期間を避けて計測する事や、温度変化等の環境要因に対処するノウハウが必要であり、それを確立したとしている点は成果である。橋梁には様々な損傷が想定されるが、それぞれの振動数変化が明確になることと低コスト化が実現すれば本システムの社会実装が期待できるであろう。また、健全性診断やモニタリング論理は基本的なものが開発されているが、今後の実用化のためには、更なるデータを蓄積することにより確実な判定論理が開発され、それが社会で広く普及することが望まれる。

道路付帯構造物 モニタリングシステム開発

委託先 株式会社日立製作所

開発技術のポイント

適用環境、従来技術と課題

従来、ジェットファンや照明柱などの道路付帯構造物の点検は、遠方目視の簡易点検や、近接目視の定期点検が一般的である。しかし、遠方目視の簡易点検では設備の異常を見落としやすく、近接目視の定期点検は、点検頻度が少ないため、点検合間の異常の検知が難しい。

また、近接目視での点検作業では高所作業車や道路規制等が必要となりコストが増大する問題があった。そのため、コストを如何にして削減できるかが課題となっている。

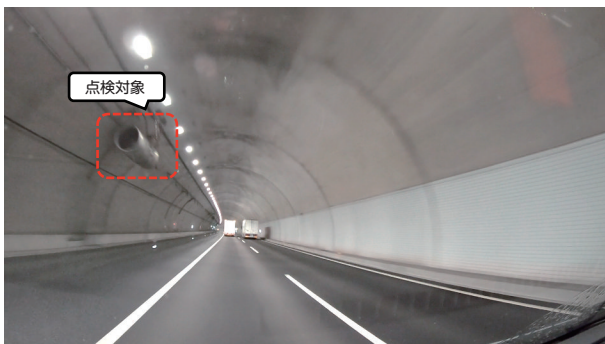
開発技術と効果

開発したシステムは、点検対象の道路付帯構造物に対してセンサ端末を取り付け固有振動数等を計測し、無線を利用してデータ回収を実現するシステムである。このシステムにより、日々の巡回業務の中で、走行中の車両内から点検対象の計測データを回収することが可能となった。

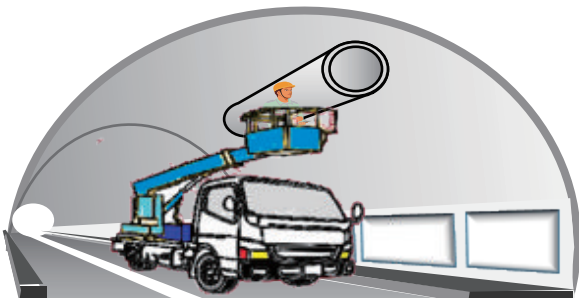
その結果、道路付帯構造物の予防保全の実現や、年に複数回行われている定期点検において、優先順位や緊急度を事前に把握することで点検作業の効率化を図ることが出来る。

解決する課題 ユースケース(適用場面)

■簡易点検では走行中の車内などからの遠方目視による点検の為、対象物の状態を正確に確認しづらい



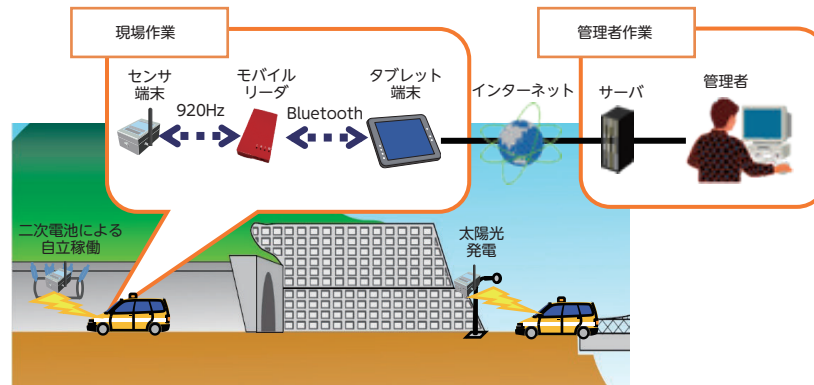
■道路付帯構造物の状態把握を目的とした定期点検の際には、高所作業車や道路規制が必要になりその都度コストが発生する



技術の概要 技術的特徴

課題に対して以下の通り複数の要件を洗い出しシステムを開発した。

- ① 道路付帯構造物の状態を適確に把握するためのセンシング技術開発 (固有振動数やRMS値の計測、異常検知のための検知ルール設定)
- ② 長期間の稼働を実現するための電源制御技術や、センサ端末内のセンサ部および無線部の低消費電力化技術の開発
- ③ センサ端末の小型化および耐久性・信頼性の技術開発
- ④ 走行しながらセンサデータを回収する為の、環境に依存しない安定した無線通信の技術開発
- ⑤ センサデータの見える化を実現する道路付帯構造物モニタリングシステムの開発・構築



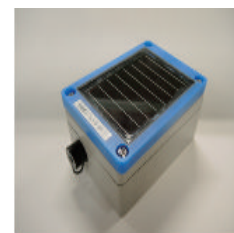
システム概要図



センサ端末外観
(振動発電タイプ)



センサ端末内部
(振動発電タイプ)



センサ端末外観
(太陽光発電タイプ)



モバイルリーダー外観

主要諸元

センサ端末	消費電力	max.35mW(データ取得1回/時間)
	消費電流	max.50mA(過渡時)
	外径寸法	100×70×50mm
	質量	約700g
	材質	アルミニウム合金
モバイルリーダー	通信周波数	920Hz
	外部I/F	Bluetooth,micro USB
	外径寸法	110×60×13mm
	質量	約53g(電池込76g)

●技術の動作実績 現場実証実験状況

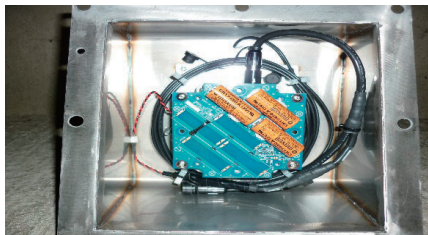
期間 2017年2月～2018年11月
 場所 新東名高速道路 三岳山トンネル(静岡県浜松市)

■実験の目的
 開発したセンサ端末に対して、策定した要件を満たすか実証実験や場内試験にて検証を実施する

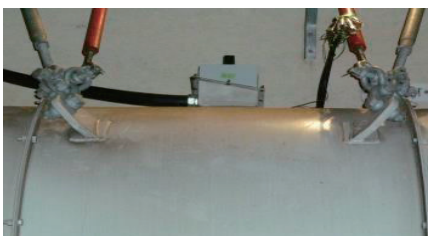
■実験の状況
 (1)供用中のトンネル内のジェットファンに設置したセンサ端末に3週間分のデータを蓄積し、時速80kmで走行している車内からセンサデータを受信できることを確認



実フィールドでのセンサ端末設置作業



ジェットファンに設置したセンサ端末



ジェットファンへのセンサ端末設置

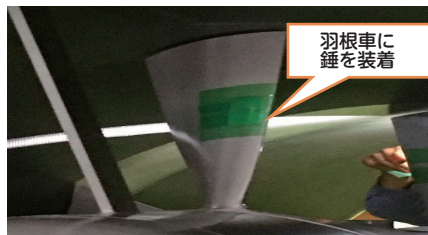


実トンネルにおいて、走行中の車両からデータを回収し、実用性を確認

(2)場内試験場にて、ジェットファンに異常を再現し、計測データの分析や検知ルールを用いたジェットファンの状態判別を実施

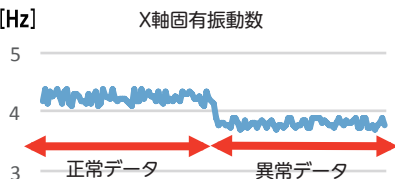


場内試験

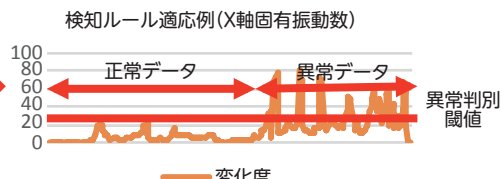


羽根車異常の再現実験

【計測データ】



【検知ルール適用後の計測データ】



※上記2種類のグラフは計測したデータを時系列にプロットしたものである

試験では、固有振動数やRMS値を計測している。計測した正常データと異常データを検知ルールへ適用することで、正常データと異常データがどの程度異なるのかを表す変化度として出力することが可能となった
 ⇒変化度がある一定の閾値を超えた場合に管理者へアラートを発報する仕組みをシステムにて構築

●実用化・事業化に向けた見通し・取組み

■実用化・事業化に向けて、実ユーザにヒアリングを実施し、ヒアリング結果を基に、対象ユーザ別の基本方針(要件)を策定

対象ユーザ	基本方針(要件)
高速道路会社	【システム提供方法】事業者の設備内に構築する 【提供機能】データ収集、見える化の基盤のみ提供、分析用基盤は別途展開 機械設備の場合は、電源機能も検討 【その他】既存の点検システム、制御監視システムの追加機能としての適用も可能
地方整備局、自治体	【システム提供方法】可能な限りサービス形態で提供(資産化しない) 【提供機能】見える化など基本機能をベースとして提供 【その他】健全度評価はコンサル会社委託(コンサル経由でサービス提供) 低コスト(ランニングコストも抑えた方式)での提供を基本とする

◆本テーマの連絡先

所属	主任研究者	連絡先
株式会社日立製作所	上松 正史	〒140-0013 東京都品川区南大井六丁目26番3号 大森ベルポートD館 TEL: 03-5471-3436 Email: masafumi.uematsu.tt@hitachi.com

技術委員会メンバーのコメント



インフラ維持管理・更新等の社会課題対応システム開発プロジェクト 技術委員

松田 浩

国立大学法人長崎大学
 インフラ長寿命化センター
 センター長

この技術はトンネルのジェットファンの吊り金具の緩み、羽根車の異常に焦点を当てており、適用場面・シナリオが明確である。作業員が手作業で点検する従来手法と比較して、交通規制が不要であり、継続的なモニタリングが実施できるメリットが認められる。
 センサ端末の小型化、耐久性、信頼性、無線技術は完成しており、実用が見込まれる。固有振動数のみならずRMS値を用いて評価するシステムを開発しており、部分空間法や累積和法による異常検知が可能なることを実証している。
 さらに、巡回型データ回収方式は無線通信機能試験及び長期フィールド試験により実証されており、現実の運用に根差した実用的技術として有効である。
 今回は高速道路のトンネル付帯設備を想定しているが、地方自治体が運用する設備にも適用可能と思われる。例えば、橋梁等の固有振動数のモニタリング等に巡回型データ回収方式が適用可能であろう。今回の成果を広く展開するシナリオを検討することにより、広範なニーズに対応することが期待される。

●技術の動作実績 現場実証実験状況

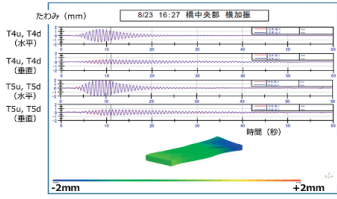
期間 平成29年8月22日(火)～23日(水)
 場所 酒田みらい橋(秋田県酒田市)

■実験の目的
 建設後15年経過時の人道橋の健全性を評価するために、開発した「一般土木用変位計測システム」を適用した。

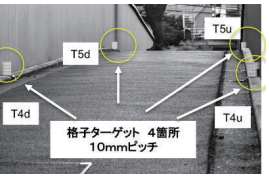
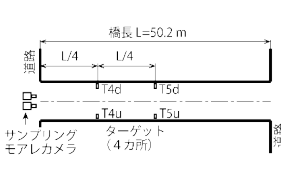


計測対象の人道

■結果レポート
 測定データから求めた固有振動数は1.37 Hzであり、建設当時に加速度計によって測定した固有振動数1.365 Hzと一致した。これにより、建設当時と変わらない剛性を有していることを開発したシステムで簡単に確認できた。

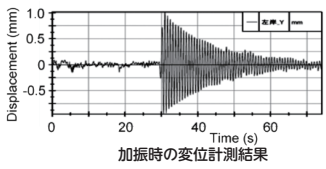


4カ所の同期計測時の画面例(時系列データと変位分布の可視化)



サンプリングモアレカメラとターゲットの配置

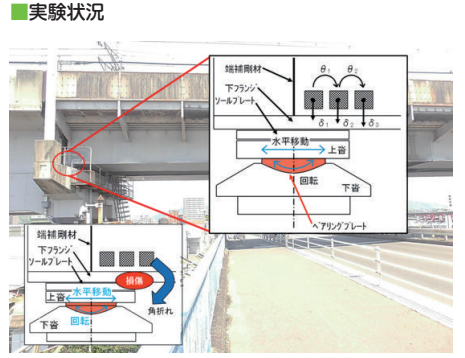
計測対象の人道橋を撮影した画像



加振時の変位計測結果

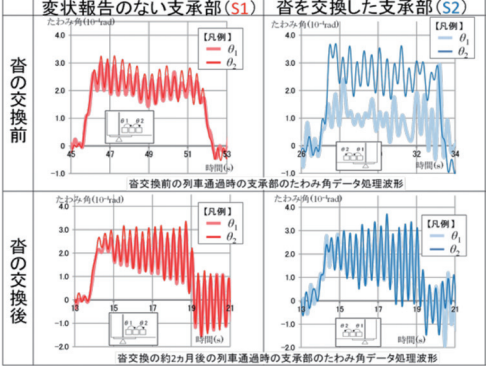
日付 平成28年3月22日(火)および平成29年4月27日(木)
 場所 新幹線A橋(広島県福山市)

■実験の目的
 変状報告のあった支承部の沓の交換による支承部機能の回復を確認するために、開発した「鉄道橋梁用変位計測システム」を適用した。



加振時の変位計測結果

■結果レポート
 ・沓の交換前のたわみ角の測定結果より、沓の回転機能が円滑ではないこと、ソールプレート径間側線端部付近で角折れが生じていることがわかった。
 ・沓の交換によって支承部の回転機能が回復したことが確認できた。



列車通過時のたわみ角の計測結果(変状がある支承部と変状がない支承部の比較)

●実用化・事業化に向けた見通し・取組み

本研究開発では実用化を念頭に、「一般土木用変位計測システム」「鉄道橋梁用変位計測システム」ともに多くの実証試験を積み重ねた。

一般土木用変位計測システム

開発品の現状分析
 ・計測機器メーカーの製品開発手法が適用された製品となっており、安定して動作する完成度の高いシステムにすることができた。

実用化・事業化に向けた見通し・取組み

・研究目標を予定より早期に達成し、一部のプロジェクト終了時期を繰り上げ、研究成果を利用した製品を発売している。
 技術提供の予定時期と方法:(実施中)システム販売・受託計測サービス・機器レンタル

鉄道橋梁用変位計測システム

開発品の現状分析
 ・鉄道橋への実証試験を通して、基本性能としては実用的に使えるレベルに到達している。
 ・2019年4月以降に製品化予定。それまでに、雨対策などの周辺機能の改良を進めることで、より使いやすいものにしていく。

実用化・事業化に向けた見通し・取組み

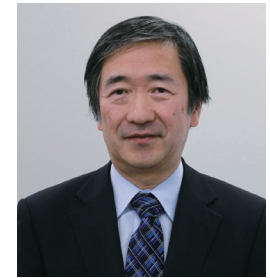
・鉄道橋梁の計測・検査現場での実績を積むことで実用化に繋げていく。
 ・新しい評価指標についても実績を積むことで利用を促進していく。
 ・ソフトウェアの使い勝手の向上、アルゴリズムの改良、ハードウェアの改良を行うことで、魅力的な製品に仕上げている。

技術提供の予定時期と方法:(2019年4月)情報提供、計測業務サービス、装置の製品販売

◆本テーマの連絡先

所 属	主任研究者	連絡先・HP 情報
一般土木用変位計測システムについて		
株式会社共和電業 新市場開拓室	前田 芳巳	〒182-8520 東京都調布市調布ヶ丘 3-5-1 TEL : 042-489-7278 Email: y-maeda@kyowa-ei.co.jp http://www.kyowa-ei.com/
(鉄道橋梁用変位計測システム) 計測内容について		
ジェイアール西日本 コンサルタンツ株式会社 執行役員 技術開発部長	栗林 賢一	〒532-0011 大阪市淀川区西中島 5-4-20 中央ビル 8階 TEL : 06-6303-1150 Email: kuribayashi_k@jrnc.co. https://www.jrnc.co.jp
(鉄道橋梁用変位計測システム) 装置について		
4D センサー株式会社 代表取締役社長	柘谷 明大	〒640-8451 和歌山県和歌山市中 649-3-111 TEL : 073-454-1004 Email : info@4d-sensor.com 4d-sensor.com

技術委員会メンバーのコメント



インフラ維持管理分野において、対象の構造物と離れたところからたわみやたわみ角を計測したいというニーズは大きい。鉄道橋への適用については、計測対象とその使用目的がしっかりと設定されていて、技術的に良い成果が出ているため完成度は高いと思われる。実証実験の協力を得られた鉄道会社の橋梁では実際に使われるだろうと思われ、心強い。道路橋への適用については、目標を早期に達成したために、プロジェクト期間の途中でNEDO事業を卒業して製品化を行っている。これは、成功事例の一つとして嬉しい。

新幹線の実橋梁を対象とした実証実験に立ち会い、列車通過時に計測装置が計画通りに稼動し、たわみ量等の計測結果をその場で表示可能なことを確認した。遠隔から構造物の各部のたわみやたわみ角を精密に測定できることは、実用上、大いに意味があると考えられる。さらに、日射による陽炎や降雨の影響等、外乱の影響も実験していて説得力がある。開発したシステムは、誰にでもどこでも使えるロバストなものであると予想され、計測対象は橋梁だけにとどまらず、他のインフラ施設や構造物などにも広く活用されることと思われる。実用化が充分近いところにあるので、ビジネスの展開を期待している。

道路構造物ひび割れ モニタリングシステムの研究開発

委託先 首都高技術株式会社、国立大学法人東北大学、国立研究開発法人産業技術総合研究所

開発技術のポイント

道路などのコンクリート構造物の点検補修、補強の計画的実施には、ひび割れの発生位置、大きさ、進展の有無を正確に知ることが重要である。しかし、従来のひび割れ検知の画像処理技術は実用レベルに達しておらず、これまで人が行っていたひび割れの記録作業は、労力が大きく、結果にバラツキも多かった。上記の課題解決を目指して、高精度のひび割れ検知技術を中核としたひび割れ記録システムを開発した。

適用環境、従来技術と課題

コンクリート構造物の代表的な損傷であるひび割れは、それ自身が劣化要因となるだけでなく、物理的・化学的な変状の結果としても発生する。構造物の補修・補強の要否は、ひび割れの発生位置や、太さ、進展の有無などを考慮して検討されるため、高精細なひび割れの記録が求められていた。しかし、ひび割れの記録は、実際には点検員の技量や主観に左右されて記録にバラツキが生じ、経年変化によるひび割れの進展などが定量的に評価できていないという課題があった。

一方、ひび割れ自動検出技術の開発はこれまでも行われていたが、検出精度がコンクリートの表面状態や撮影条件に大きく左右され、ひび割れの見落としや見誤りへの対処が必要なため、実務に用いられることは少なかった。

開発技術と効果

本研究では、ひび割れ特徴抽出技術とAIの活用により、コンクリート表面画像から高精度にひび割れを検出できる技術を開発した。これにより、これまでの自動検出と比べて特に誤検出が少ないことを特徴とする高精度なひび割れ自動検出技術を実現した。さらに、開発したひび割れ自動検出技術を大きなコンクリート構造物で使用するためのパノラマ画像合成技術、ひび割れ記録システムをあわせて開発し、ひび割れの記録作業の省力化、検出結果の定量化を実現した。開発したひび割れ記録システムは構造物のより適切な補修・補強の計画立案等に貢献する。

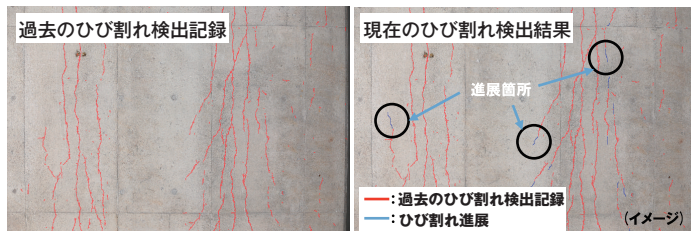
解決する課題 ユースケース(適用場面)

点検記録の 高精度化・ 省力化



従来の技術に比べ、型枠跡やチョーク跡を誤検出することなく、熟練技術者が判断した結果と同等の精度にひび割れ検出が可能となった。

経年変化の 検出

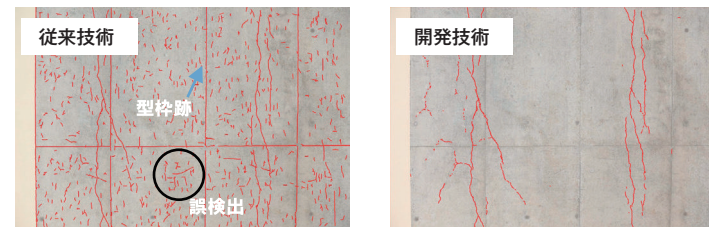


過去のひび割れ記録と現在のひび割れ検出結果を比較し、ひび割れの進展(右写真:青線)を検出することが可能となった。

技術の概要 技術的特徴

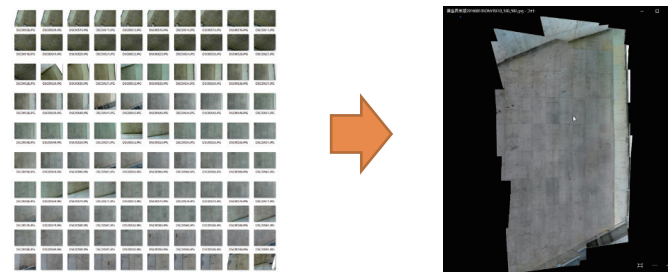
■ひび割れ自動検出技術

ひび割れ情報を教示データとして機械学習させたことで、従来技術に比べ高精度にひび割れを自動検出することが可能となった。検出精度:82.4%(H30.12現在)



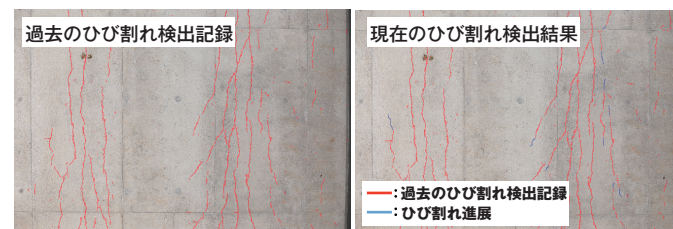
■パノラマ合成技術

道路構造物全体のひび割れ状況を把握し、その健全度を判定する必要があるため、部分的に撮影された画像をつなぎパノラマ画像を作成する必要がある。従来は画像のつなぎ目をばかして合成していたが、各画像に共通する特徴点を多数検出し、特徴の少ないコンクリート面でも高精度にパノラマ画像を合成することが可能となった。



■経年モニタリング技術

画像解析技術を用いてひび割れを高精度に自動検出して記録することで、ひび割れの進展を客観的に把握でき、効果的な補修を実施できる。また、遠方から非接触で計測することも可能である。



■撮影概要

撮影機材の特別な指定は無いが、一眼レフ等の高精細画像を取得できるデジタルカメラを推奨している。また、手ブレやピンボケを防止するためレリーズを用いて撮影することも推奨している。ネットワークを活用することで、現場にいながらひび割れを検出することも可能である。



●技術の動作実績 現場実証実験状況

期間 平成27年2月9日(月)～継続中
場所 A橋

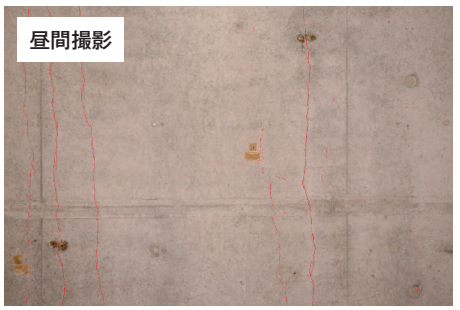
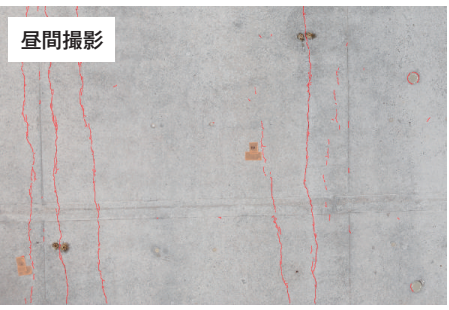
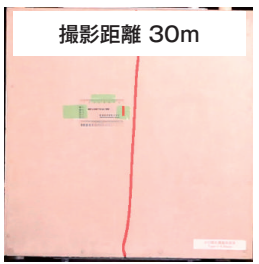
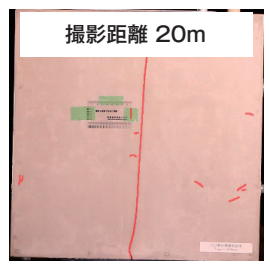
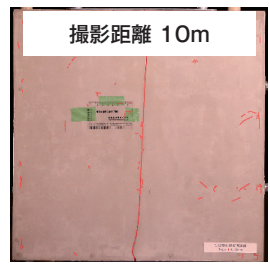
- 実験の目的
- ・実環境におけるひび割れ検出の検証
 - ・経年変化検出の検証
 - ・現場撮影時の課題整理

- 実験状況
- 撮影条件の違いによる検出精度検証
 - ・撮影時刻(昼、夜)
 - ・検出距離(10m, 20m, 30m)
 - ・カメラ機器(一眼レフ、コンパクトデジタルカメラ) など
 - 経年変化の検証(2回/年)



■結果レポート

撮影条件の違いによる検出精度や、ひび割れ進展検出の検証を実施した。結果として、実環境での撮影においても、撮影距離や撮影時間帯等の条件に左右されることなく、安定したひび割れ検出結果が得られた。また、対象構造物のひび割れが進展していないことも確認でき、ひび割れ進展モニタリングについて実用可能であることを確認した。現場撮影時の効率化が課題であったが、状況写真のドリー(移動式三脚)を作製し、その効果も確認した。



●実用化・事業化に向けた見通し・取組み

■事業化に向けた取組み平成29年度からの事業化

平成29年度から道路事業者・検査測量企業等へのヒアリング、市場調査、試験公開サーバによる試用環境提供、利用者アンケートなどを実施することで、事業化に向けた具体的なニーズの把握を図るとともに、システム開発の参考とした。

また、システムのブラッシュアップや周辺技術の追加開発と並行して、撮影機材の性能や撮影方法等の仕様検討を行った。

■事業化への見込み

ひび割れ検出サービスはクラウド上にシステムを構築し、利用者へ提供することを想定している。試験公開サーバでの試用環境提供により、システム運用やアクセス負荷への対処に関するノウハウを蓄積することができた。この結果、クラウドサービスによるひび割れモニタリングシステムの事業化を早期に実現可能と考えており、平成31年6月頃より事業開始を目標として準備をすすめている。

また、スタンドアロン動作のためのソフト販売の要望もあり、引き続き市場調査の結果を通じて提供の形態を検討していく。

◆本テーマの連絡先

所 属	主任研究者	連絡先・HP情報
首都高技術株式会社 技術部 構造技術課	佐藤 久	〒105-0001 東京都港区虎ノ門3-10-11 虎ノ門PFビル TEL : 03-3578-5768 Email : h.sato@shutoko-eng.jp http://www.shutoko-eng.jp

技術委員会メンバーのコメント



インフラ維持管理・更新等の社会課題対応システム開発プロジェクト・リーダー

油田 信一

学校法人芝浦工業大学
SIT総合研究所 客員教授

本開発は、従来検査員の目視により行われてきたコンクリート表面のひび割れの点検記録作業を画像処理技術を活用したシステムで支援・代替することを目指して行われた。開発中のシステムを用いたデモでは、コンパクトカメラを用いて撮影したコンクリート表面の画像から、ひび割れが確実に検出されていた。画像処理には最近話題の深層学習が用いられているが、従来からありがちな要素技術に偏ることなく、具体的なニーズと現場条件に対応したシステム開発がしっかりと行われており、実用性のある成果が得られていることは高く評価される。

この課題は、国交省のインフラ構造物検査へのロボット技術等の適用に向けた実証評価PJでも対象とされ、成果の実用化が期待されているものである。

すでに本成果の一部は、ひび割れ自動検出サービスとしてWEBを通して試験公開されているなど、社会実装のステップを踏み始めており、積極的な姿勢が評価される。

また、本開発成果は、ひび割れの正確な位置、形状をデータとして扱えるため、この定量性を持つ画像処理結果が、ひび割れそのものの評価等に関する基準ともなっていく可能性があり、大いに期待したい。また、コンクリートのひび割れのみでなく、浮きや剥離の検出についても、開発が行われているとのことで、今後の発展が期待される。

超小型X線及び中性子センサを用いた インフラ維持管理用非破壊検査装置開発

委託先 株式会社日立パワーソリューションズ、国立研究開発法人産業技術総合研究所、国立大学法人静岡大学

開発技術のポイント

適用環境、従来技術と課題

高経年化した基幹産業インフラは、大規模保全が必要な段階となっており、このうち配管に代表される保温材下外面腐食(CUI)は喫緊の課題のひとつである。

CUI検査としては、保温材解体後の目視検査や超音波による肉厚検査が一般的であるが、検査箇所全ての保温材解体や高所配管の全面足場設置など、多大な付帯工事のコスト・時間が課題である。

開発技術と効果

保温材を解体せずに配管の状態を確認できる非破壊検査手法を軸とし、さらには非破壊検査装置をロボットに搭載して自動化することにより、CUI検査の大幅な効率化を実現した。

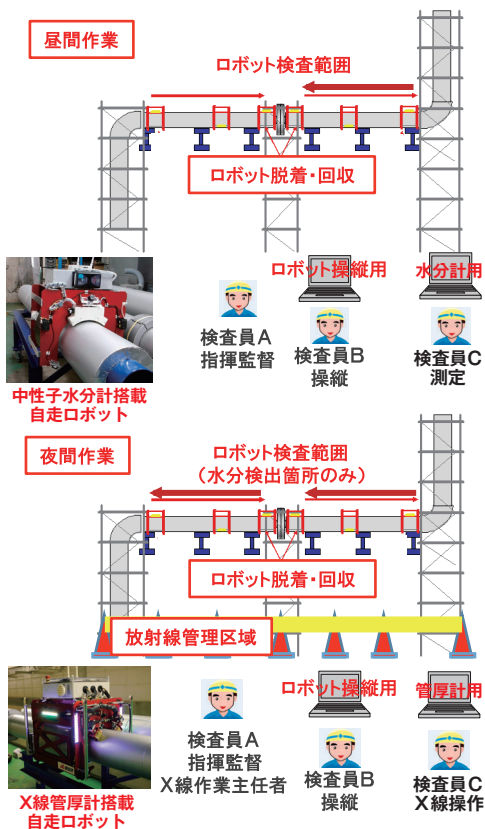
ただし全てを足場レスとするのではなく、腐食リスクの高いフランジやバルブなどの不連続部は足場を設置しての詳細検査が必要であると考え、足場を部分的に利用することで総コストを最小化するベストミックスな検査手法を構築した。

解決する課題 ユースケース(適用場面)



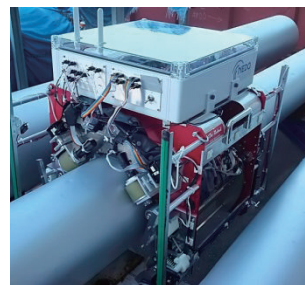
足場の組まれた高所配管

- 高所に設置される保温材付き水平配管(鋼パイプ)の肉厚を計測
- CUI発生箇所は予測が困難であることから、検査箇所は広範囲
- 従来では検査のために全面的仮設足場の設置や保温材の全面解体が必要となり、検査のための付帯工事費用がエンドユーザの検査費用を圧迫
- 検査すべき箇所を中性子水分計搭載自走ロボットにてスクリーニングし、要検査部位のみを夜間にX線管厚計搭載自走ロボットで検査することで検査効率を向上させた



技術の概要 技術的特徴

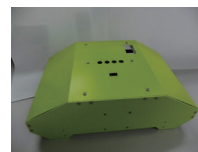
- 中性子水分計搭載自走ロボット、X線管厚計搭載自走ロボットおよび各ロボットに搭載するためのセンサ(中性子水分計、X線管厚計)を開発
- 中性子水分計の小型軽量化によりロボット搭載を可能とした
- 中性子水分計は中性子の水分中の水素原子との反応特性を利用して水分を検出
- 将来搭載用としてシンチレータ式中性子水分計の採用により測定を高度化
- X線管厚計は、X線を保温材の上から照射し、配管肉厚を測定
- ロボットに搭載可能とする超小型X線源およびCdTe半導体検出器を開発
小型軽量化と電池駆動化を実現



中性子水分計搭載自走ロボット



X線管厚計搭載自走ロボット



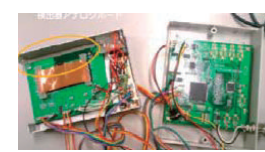
中性子水分計



シンチレータ式中性子水分計
(将来搭載用)



超小型X線源



CdTe半導体検出器

主要諸元

中性子水分計搭載自走ロボット

外形寸法	510(W)×520(D)×580(H)mm
本体質量	25kg
走行速度	15cm/s(走行時)
電源	バッテリー駆動 3時間
通信	無線50m
中性子水分計(線源)	カリホルニウム252 2MBq(表示付認証機器((セ)-147))
放射線管理	放射線管理区域不要、RI主任者不要

X線管厚計搭載自走ロボット

外形寸法	535(W)×800(D)×680(H)mm
本体質量	65kg
走行速度	15cm/s(走行時)
電源	バッテリー駆動 2時間以上
通信	無線50m
計測精度	配管外形計測精度 0.1 mm以下 配管肉厚計測精度 0.3 mm以下
X線管厚計(線源)	200keV(カーボンナノ構造体線源)
X線管厚計(検出器)	検出器 蓄積型CdTeイメージングセンサ 解像度 100μm 画素数 464×512ピクセル フレーム速度 最大100fps
放射線管理	放射線管理区域、X線作業主任者必要

●技術の動作実績 現場実証実験状況

日付 平成30年11月14日(水)
場所 三菱ケミカル大竹事業所(広島県大竹市)

■実験の目的

高所を想定した地上の実配管を対象に中性子水分計搭載自走ロボットおよびX線管厚計搭載自走ロボットの動作を確認するとともに、実運用の手順を確認する。

■実験の状況



実験対象プラント



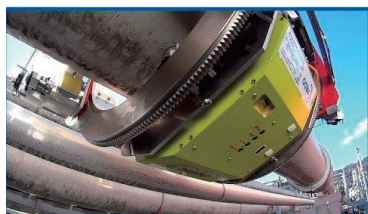
対象配管



配管へのロボット設置



配管上走行



中性子水分計測



安全機能確認



夜間運用実験(走行)



夜間運用実験(測定模擬)

■結果レポート

当初の目的である保温材を解体せずに配管の状態を確認するために、中性子水分計を搭載したロボットにより保温材中水分を測定できた。放射線管理の都合上X線管厚計を作動することはできなかったが、X線管厚計搭載自走ロボットの夜間運用を確認し実運用の見通しを得た。

■実用化・事業化に向けた見通し・取組み

■開発品の現状分析

中性子水分計および中性子水分計搭載自走ロボットは既に実用のレベルに達しており、先行して高所配管向け中性子水分計測ビジネスを開始する。

X線管厚計によるエッジ撮像技術は基盤技術の確立までは達成できているが、ロボットへの搭載には至っておらず、ロボット搭載に向けて技術開発の継続が必要である。

■実用化・事業化に向けた見通し

既に中性子水分計測技術を導入しているユーザは、検査ニーズが高いと考え、先行的に展開する。また検査ニーズは産油国を中心とする海外からもあるが、日本よりも高温多湿の過酷な環境でも適用できるような改善が必要となる。

さらには本開発で得られた非破壊検査技術は配管検査以外の分野でも応用が期待されており、ニーズに即した技術開発を継続する必要がある。

■実用化・事業化に向けた取組み

過去に日立パワーソリューションズ製ポータブル型中性子水分計を購入もしくは導入しているユーザを対象に中性子水分計測サービス事業展開を開始する。新規顧客向けにはシステム完成度の高まった段階で展開することとする。

装置販売ではなくサービス展開を重ねることによりシステム全体のブラッシュアップを図る。並行して次世代型中性子水分計と捉えているシンチレータ式中性子水分計の開発を継続し、将来的にはロボットへの搭載を計画する。

X線管厚計についてはフォトンカウンティングなど新技術の適用検討をふまえ研究開発を継続するとともに実用化を加速する。

◆本テーマの連絡先

所 属	主任研究者	連絡先・HP 情報
株式会社 日立パワーソリューションズ	浅見 研一	〒317-0072 茨城県日立市弁天町三丁目 10 番 2 号 日立山側事業所 分析棟 2 階 TEL : 0294-55-8947 Email:kenichi.asami.hr@hitachi.com http://www.hitachi-power-solutions.com/

技術委員会メンバーのコメント



インフラ維持管理・更新等の社会課題対応システム開発プロジェクト 技術委員

細田 祐司

一般社団法人
日本ロボット学会
理事/事務局長

化学プラント等多くの配管インフラの経年劣化に対し、配管検査の効率化、その作業安全性の確保は喫緊の社会課題であり、本非破壊検査装置の開発は、その有効な解決手段となり得る。

本装置で運用するX線管厚計測技術及び中性子断熱材水分計測技術は確立され、さらに各計測デバイスを移動操作するロボット機構の目標機能も達成されており、現場で使うための基本的技術はできたと考える。一方、実際の走行環境である配管設備には、断熱外装の変形等、移動の障害要因が多々存在するので、今後の実用化・事業化に向けては、ロボット本体の適応性向上及び信頼性向上と共に、安全かつ高信頼な運用技術の確立が課題となる。従って本開発プロジェクト後は、本装置の現場での定常的な使い込みと、それにより得た問題点・要求に応じた改良開発の反復により、現場適用に耐える頑健な製品を育成することが求められる。また、多様な配管環境に対し、本装置が安全に適用可能か否かを評価する技術も併せて体系化する必要がある。これらは、息の長い地道な仕事であり、確実に継続できる事業の柱組み作りが重要になる。

本開発は、実用化のポテンシャルが高く、また多方面での活用も想定され、世界展開も可能と思われる楽しい成果である。

大面積 F P 型イメージセンサによる X線非破壊検査装置開発

委託先 国立研究開発法人産業技術総合研究所

開発技術のポイント

適用環境、従来技術と課題

従来のX線を用いた非破壊検査において、センサのX線感度をインフラ維持管理に適用するには不足していた。また、非破壊検査の現場ではX線フィルムやイメージングプレートが使われることが一般的に多く、ユーザビリティの高いデジタル検出器の登場が待ち望まれていた。

開発技術と効果

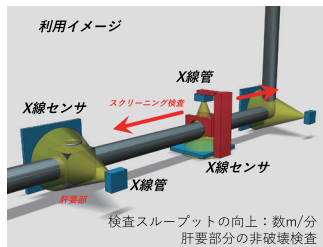
国産の最新液晶ディスプレイ製造技術(TFT:薄膜トランジスタ)をX線検出に転用し、大面積フラットパネル型のX線センサを開発した。最新のTFT技術により、感度が向上しリアルタイムでのX線検査が可能になった。本技術により、検査領域の大面積化と高感度化を両立することに成功し、さらにバッテリー駆動を可能にしたことで、X線検査の適用範囲が大幅に拡大した。

開発したセンサと小型X線管を、遠隔操作可能な駆動装置に搭載し、直径70cm以上の大型配管の非破壊検査にも適用可能であることを実証した。

解決する課題 ユースケース(適用場面)



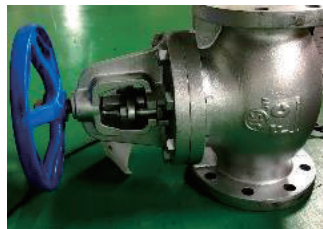
産業プラント



利用イメージ



保温材付大型配管



大型バルブ

プラントに代表される産業インフラは我が国の産業を長年支えてきた重要な産業基盤である。しかし、高経年化とともに、産業インフラの劣化に伴う事故やトラブルが報告されるようになった。本プロジェクトで開発した大面積センサにより、広大な産業プラントにおいて12~24インチ配管を移動ロボットでスクリーニング検査することや、バルブ、フランジ、エルボー部、溶接部といった肝要部の非破壊検査が可能となった。

このような場面では、従来のX線検査装置や、超音波探傷などでは検査が難しかったが、X線検出器に最新のTFT技術を転用し、デジタル化、高感度化、大面積化することで、リアルタイムで厚内部のX線非破壊検査が可能となった。これは特に、今まで感度が不足していたX線検査の適用が難しかった箇所にもX線非破壊検査が適用可能になることを意味し、さらに遠隔操作可能な駆動装置に搭載することで検査のスループットを大幅に向上させることが可能になる。

技術の概要 技術的特徴



PC



USBケーブル



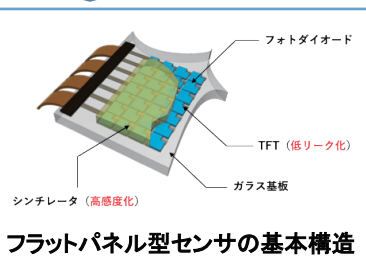
ACアダプタ

軽量でシンプルなインターフェイスで構成されており、高いユーザビリティを実現した。

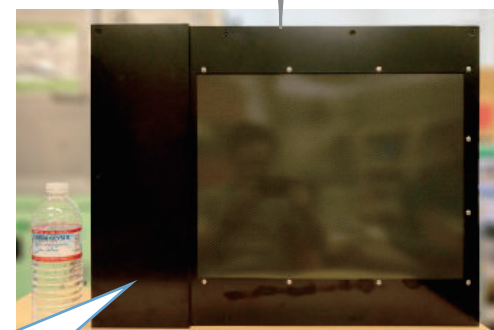


国産の液晶ディスプレイ技術

X線検出器に転用



フラットパネル型センサの基本構造



開発したフラットパネル型X線検出器

- ✓ 高感度
- ✓ 大面積
- ✓ 薄型・軽量
- ✓ デジタル(16bit)
- ✓ バッテリー駆動可

TFTイメージングセンサとして、従来はシリコン半導体を用いられていたのに対し、本研究では酸化物半導体素子を用いることに挑戦した。国内の液晶トップメーカーではインジウム(In)、ガリウム(Ga)、亜鉛(Zn)の酸化物であるIGZOを用いた次世代のディスプレイ用TFT技術として広く開発が進められてきており、その技術をX線センサに転用することで、電荷のリークを従来の1/1000以下にすることに成功し、高感度のX線センサを実現することができた。

主要諸元

外形寸法	L410×W520×H40mm
本体質量	2kg
インターフェイス	USB 3.0
画素数	1280 × 1552
ピクセルサイズ	200μm × 200μm
電源	Liイオン電池
出力X線画像	16bit TIF形式
X線検出方式	間接方式(GOS)
対象とする場所	インフラ、工業製品、他

●技術の動作実績 現場実証実験状況

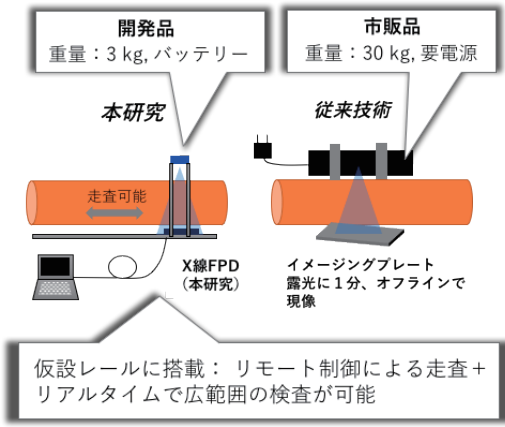
日付 平成29年9月20日(月)
 場所 国立研究開発法人産業技術総合研究所つくば北サイト(茨城県つくば市)

■実験の目的
 ピンホール状の漏洩箇所が見つかった大型配管設備にて、補修した大型配管の修繕状況の確認と、修繕箇所以外の箇所の検査を、本プロジェクトで開発した大面積FP型X線センサと、小型X線管を搭載した検査装置を用いて実施し、感度と分解能、運用性を確認する。

■実験の状況
 産総研北サイト 水大流量校正設備(直径70cm配管)にて、軽量化・バッテリー駆動化した検査装置全体を遠隔操作可能な駆動装置に搭載し、広範囲の検査を実施した。本装置は、1箇所(31cm×25cmの範囲)を1秒の速さで配管のデジタルX線透過画像を撮影し、リアルタイムで検査することに成功した。

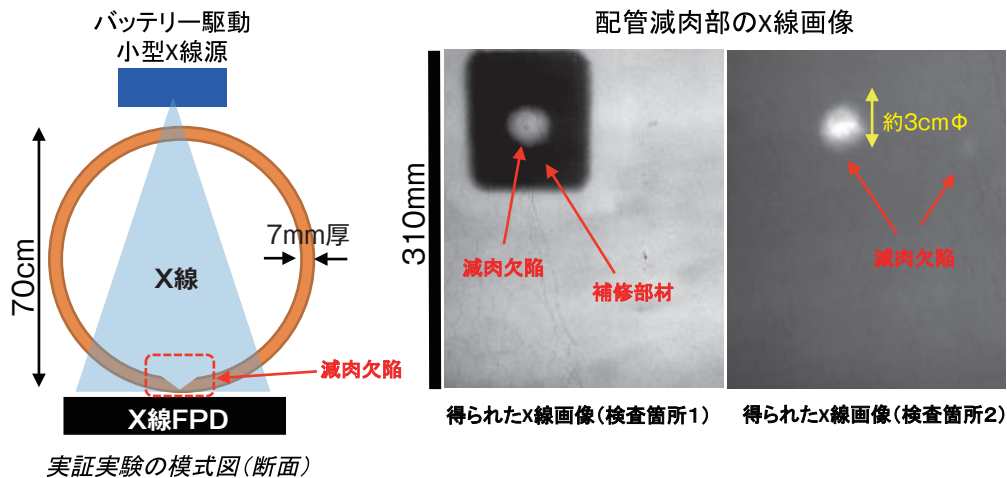


実際の検査の様子



従来技術との比較

■結果レポート
 現場での検査用にフラットパネル型検出器をバッテリー駆動できるよう改良し、産業技術総合研究所で開発した超小型X線源と組み合わせ、大型配管の検査に成功。実用に十分な感度と分解能があることが実証された他、周辺の放射線量も大幅に低下し、安全に寄与する技術であることも確認された。



●実用化・事業化に向けた見通し・取組み

プラント配管等の産業インフラ設備の高経年化による設備の劣化が懸念されているが、我々は大型配管の検査を、より簡便に、そして効率的にする技術開発に取り組んでいる。本研究では、高感度化した大面積フラットパネル型X線検出器と、小型X線源を組み合わせた、バッテリーで駆動可能なポータブル検査システムを開発した。本プロジェクトでは、実際に検査システムを実現場に持ち出し、直径70cmの大型配管での実証実験に成功した。本開発により、産業インフラの検査効率が高飛躍的に向上する他、従来のX線管とIPを用いる場合に比べて、X線検査でたびたび問題となる周辺の放射線量も大幅に低下したことを合わせて報告しておきたい。開発したX線検査装置はシンプルな構成となっており、量産と製品サポートの体制を整えていく。空間分解能200μm・有感サイズがA4サイズのX線センサに関しては開発フェーズは終了し、2019年内に市販化する予定である。

今後もフラットパネル型X線検出器についてはさらなる高分解能化、大面積化と高感度化を目指し研究開発を継続していく予定であり、100μm以下の分解能を持つものや、17インチ×14インチサイズの後継機を2020年に市販化する計画でいる。

一方、検査効率が向上すると共に増える膨大な画像データに対して、劣化箇所の画像解析等、本技術が今後普及していくには様々な技術的課題が存在するが、人工知能と組み合わせるなど、実現場での検証実験を通じて改良を重ねていき、産業インフラの維持管理へのX線検査技術の導入に貢献できるように努めていきたい。

◆本テーマの連絡先

所 属	主任研究者	連絡先・HP情報
国立研究開発法人 産業技術総合研究所	藤原 健	〒305-8568 茨城県つくば市梅園 1-1-1 TEL: 029-861-3146 Email: fujiwara-t@aist.go.jp https://staff.aist.go.jp/fujiwara-t/

技術委員会メンバーのコメント



インフラ維持管理・更新等の社会課題対応システム開発プロジェクト 技術委員

世界的にも画期的な検出器開発に成功している。高エネルギーX線を高感度、高速に撮像可能とした素晴らしい装置である。国産液晶ディスプレイ技術に着目したことは見事であり、従来にないX線検査用の高感度・大面積パネルの開発に成功している。これにより、これまで見えなかった厚い鉄バルブの非破壊検査が短時間で可能となっている。開発した試作パネルは一体型で取扱性や可搬性も高く、セットで使用するX線源も当プロジェクトで開発した小型のものを活用し、現場での運用性が高い優れた技術であると認められる。

多くのニーズに対応できるX線イメージング検出器であるので、マーケットとの強い協力体制を築くサポートが必要と感じる。ベンチャーを立ち上げる予定とのことだが、マーケット調査と線源メーカーとの組合せの精査も必要と思う。この検出器を組み込んだシステムとして、対応現場を絞った製品モデルを作るとよいのではないかと。

大竹 淑恵

国立研究開発法人 理化学研究所 光子工学研究領域(RAP) 光子技術基盤開発グループ 中性子ビーム技術 開発チームリーダー

将来は世界への展開が期待される技術であり、技術的な優位性プラス新たな分野の開拓となる装置である。基盤となるTFTのコストとマーケット規模のバランスだが、世界をリードする国内技術として進めてほしい。産業インフラの非破壊観察の計測例により今後の展開が期待される。

国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構
ロボット・AI部

〒212-8554 神奈川県川崎市幸区大宮町 1310 ミューザ川崎セントラルタワー
TEL.044-520-5244 FAX.044-520-5243
<http://www.nedo.go.jp>