

Connected Industries推進に向けたMEMSセンシング技術開発への挑戦  
研究開発プロジェクト成果報告会

セッション2

## 道路インフラモニタリングシステム(RIMS)の 研究開発

平成29年10月5日(木)

(技)NMEMS技術研究機構 インフラモニタリング研究所 所長 /  
(国)東京大学IRT研究機構 機構長 教授  
下山 勲



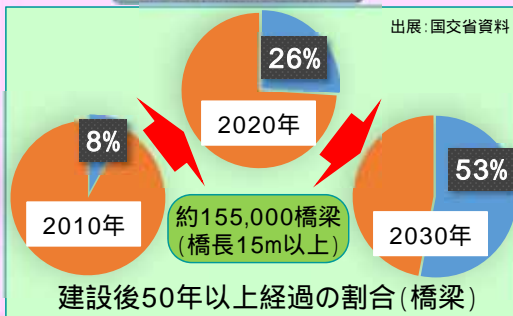
NMEMS 技術研究機構

1

### 対象とする社会課題



#### 老朽化の進展



#### 道路インフラの劣化

大型車両・過積載車両の増加



異常気象・地震による  
災害の多発



#### 維持管理・更新

平常時

劣化原因事象の監視

詳細点検必要箇所抽出

劣化の発見、場所の特定

劣化進行状況の監視

補修優先順位の決定

補修効果の確認

非常時

災害発生時における迅速な状況把握 通行可否の迅速な判断 復旧優先順位の決定

#### 現状

H26年に道路法施行規則が一部改正され、道路構造物の近接目視点検が法制化 でも大変

点検作業量の増大

点検困難場所存在

熟練点検員不足

点検・維持管理・更新予算不足

あいまいな目視判定・評価基準

内部の損傷・劣化が正確に把握出来ない



NMEMS 技術研究機構

2



# 本研究開発の狙い



高性能・安価な新規デバイス及びモニタリングシステムの開発により現状の課題を解決し、道路インフラの低コスト維持管理・更新を実現

・通常点検  
+ 常時・継続モニタリング

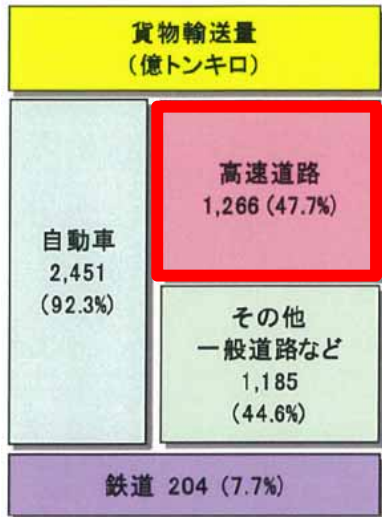
劣化・損傷診断による、  
事後保全から予防保全へ

24時間モニタリングで現状の保守・点検作業を補完  
将来は 目視点検の不要化を目指す

近寄れなかった、見えなかった場所もモニタリング  
・無線・自立電源・高耐久性パッケージ

道路インフラを一元管理  
・多様なセンサをシームレスに統合する  
インターフェースとネットワーク

高速道路で技術を高め一般道へ将来展開



出典: 高速道路便覧(平成 24 年度)



NEMMS 技術研究機構



# 本テーマが対象とする社会課題



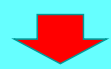
## 橋梁: 老朽化の進展

NEXCO3社が管理する全橋梁数16,112橋中43%が30年以上経過

<10年	10~20年	20~30年	30~40年	40~50年	50年<
10%	22%	25%	25%	16%	2%

橋長2m以上の橋梁は全国で699,000橋あり、その大半は市町村管理で平均年齢も35年以上になっている。

管理者	国	都道府県	政令都市	市町村	高速道路会社
比率	4%	19%	7%	68%	2%
平均年齢	35年	38年		35年	29年



法改正で5年に1回の近接目視による点検が義務付けされたが今後老朽化が加速する膨大な道路インフラを従来の点検手法で実施するのは困難

## 道路付帯構造物:

環境条件等の変化で設計基準の見直し必要

橋梁上の情報板は交通振動で想定寿命下回る可能性あり

- ・NEXCO中日本の橋梁上情報板: 200面 / 3,000面
- ・NEXCO3社では: 約1,000面 / 14,500面

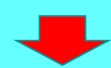


想定外外力や損傷の定量的な連続モニタリング必要

## 法面:

異常気象により要注意箇所10年前の2倍

- ・要注意法面約2,500箇所 / 修繕予定法面117,606箇所



安価で信頼性の高い連続モニタリングシステム必要



NEMMS 技術研究機構

- ・ 環境エネルギーで稼働する小型、安価、高性能、高耐久性の無線センサ端末を新たに開発
- ・ 「橋梁センシングシステム」、「道路付帯物センシングシステム」、「法面センシングシステム」を開発
- ・ これらのシステムを統合し、道路インフラの状態をリアルタイムに、一元的に維持・管理できる「道路インフラモニタリングシステム(RIMS: Road Infrastructure Monitoring System)」を開発
- ・ ネットワーク技術、高耐久性のパッケージング技術に関しては共通化を図り、効率的な開発を行う
- ・ パッケージとして一般道への展開及び海外展開も容易となる。これは世界初の試みと考える
- ・ 将来技術として、センサ端末同期用原子時計の基盤技術及び高性能振動発電を開発
- ・ 開発したセンサシステムを大規模インフラのモニタリングに展開



対象	新規センサ端末	共通基盤技術	センサシステム	統合化システム	
橋梁	SA振動センサ	共通耐環境性パッケージ・接着・10年間保証技術	SAセンシングシステム	道路インフラモニタリングシステム (RIMS)	
	面パターン歪センサ		歪センシングシステム		
付帯物	振動・傾斜マルチセンサ		自立電源		付帯物センシングシステム
	電波位相差変位センサ		セラミックPKG		法面センシングシステム
法面		内蔵アンテナ			

展開

大規模インフラモニタリングシステム

道路管理者へ

センサ端末同期用原子時計

高性能振動発電

将来技術

役割分担を明確にした19機関の産官学連携体制（技術研究組合として実行）  
 ネットワーク技術、パッケージング技術、信頼性保証技術の共通化による高い開発効率  
 主要高速道路会社参画でニーズに沿った速いP D C Aサイクル

## (1) センサ端末及びモニタリングシステムの研究開発

### (1-1) 橋梁

(1-1-1) スーパーアコースティック  
 (振動)  
 (東芝、東大、京大)

(1-1-2) フレキシブル面パターン  
 (ひずみ)  
 (産総研、大日本印刷)

### (1-2) 道路付帯構造物 (標示板等)

(富士電機)

### (1-3) 法面

(三菱電機)

## (2) センサシステム共通基盤技術の研究開発

(2-1) 無線通信ネットワーク共通PF (NTTデータ)

(2-2) 高耐久性パッケージング共通PF (MMC、日本ガイシ、大日本印刷、産総研)

## (3) 実証・評価研究共通PF (NEXCO東日本・中日本・西日本、阪神高速を含む全参画機関)

## (4) 先導研究: センサ端末同期用原子時計 (産総研、リコー、MMC、京大、東工大、首都大東京)

## (5) 加速研究: 大規模インフラ向け高性能振動発電 (豊宮製作所、静大、京大、東大、MMC)



NMEMS 技術研究機構

# スケジュール

テーマ名	FY2014	FY2015	FY2016	FY2017	FY2018
(1) 道路インフラ状態モニタリング用センサ端末の研究開発					
(1-1-1) 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(振動)					
(1-1-2) 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(ひずみ)					
(1-2) 道路付帯構造物傾斜センシングシステムの開発					
(1-3) 法面変位センシングシステムの開発					
(2) 道路インフラ状態モニタリング用センサシステム共通基盤技術の研究開発					
(2-1) 無線通信ネットワーク共通プラットフォームの開発					
(2-2) 高耐久性パッケージング技術の開発					
(3) 道路インフラ状態モニタリング用センサシステムの実証及び評価研究					
(4) センサ端末同期用原子時計の研究開発(先導研究)					
(5) 大規模インフラ向け高性能振動発電の開発(加速研究)					

3年で新規センサ・センシングシステムを完成

共通プラットフォームの完成

実証実験準備

将来技術フェージビリティ検証

実証

本格実証実験開始「および」大規模インフラへの適用可能性検討

大規模インフラへの適用可能性検討「および」大規模インフラへの適用可能性検討

省エネ効果検証

本格実証・データ蓄積



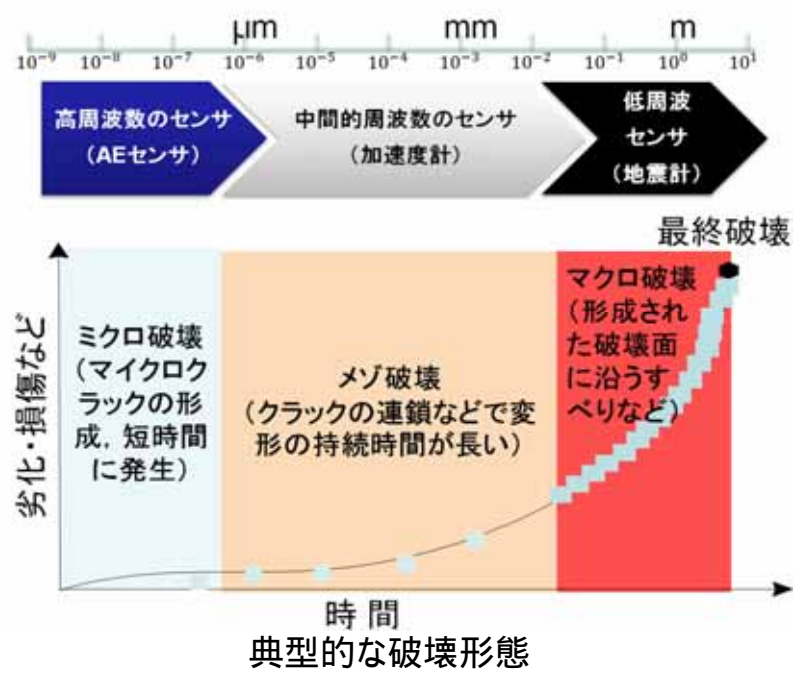
NMEMS 技術研究機構

## 研究開発の概要と差異化ポイント

破壊のマルチスケール性(右図)からあらゆる劣化のステージに対応するには数Hz ~ 1MHzの帯域のセンサが必要

SAセンサを活用した、橋梁の健全状態から、初期劣化(マイクロ破壊: 10kHz ~ 1MHz) 中間劣化(メゾ破壊: 数100Hz) 限界劣化(マクロ破壊: 数Hz) までを一個のセンサで検出できるセンサシステムの構築。

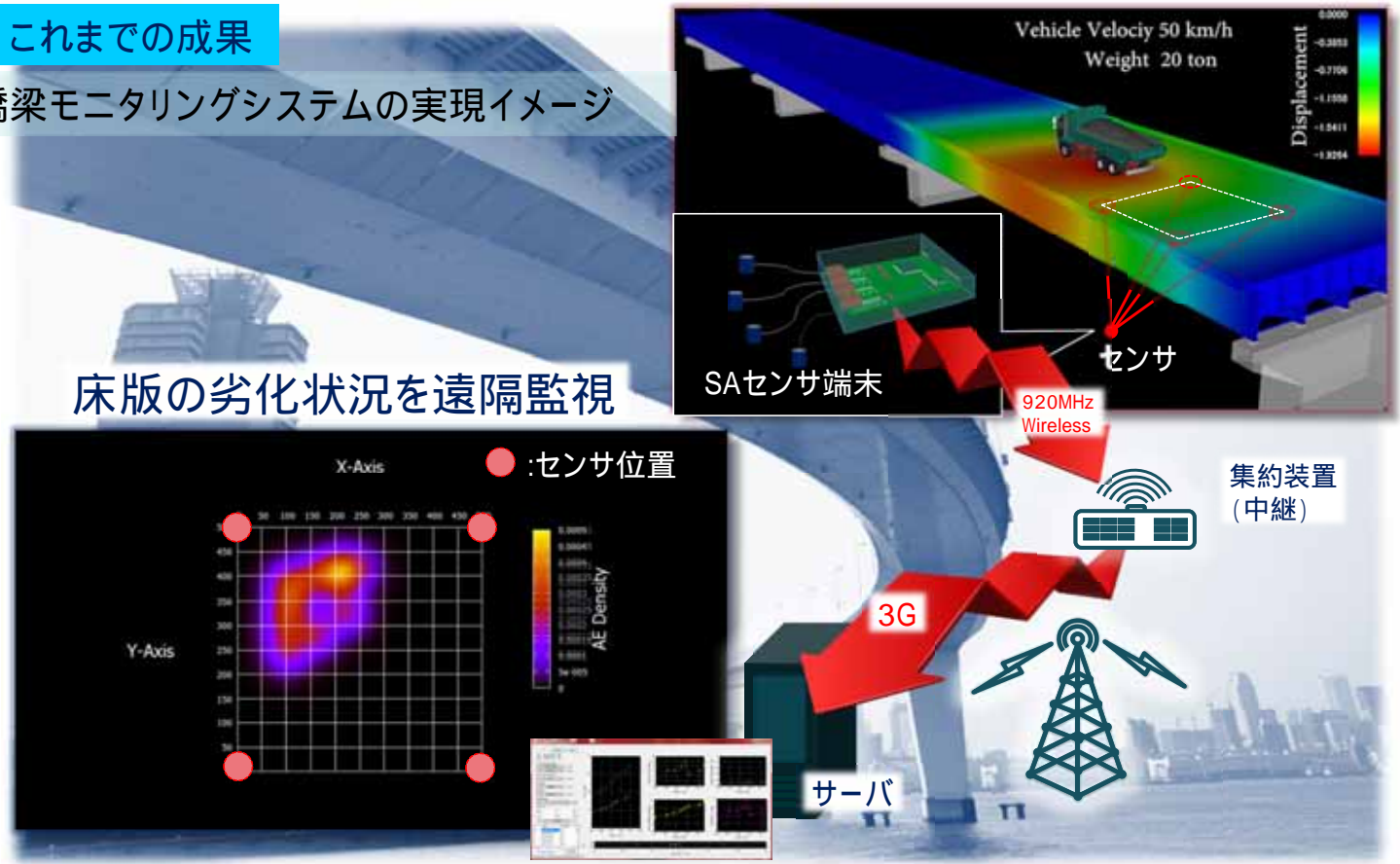
SAセンサの適用対象材料は、土、岩、組積造、コンクリート、鋼、複合材料など広範に亘り、大規模インフラの長大橋はもとより、橋梁以外にも応用展開が期待できる(構造物聴診器)



## これまでの成果

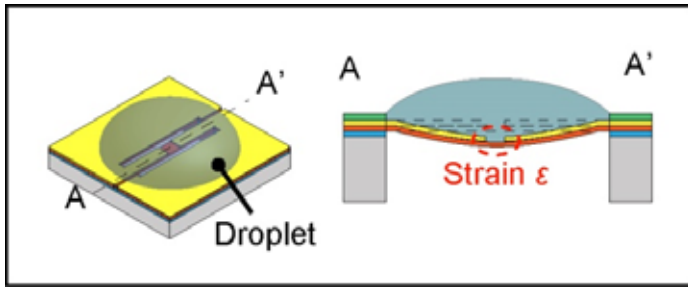
橋梁モニタリングシステムの実現イメージ

床版の劣化状況を遠隔監視

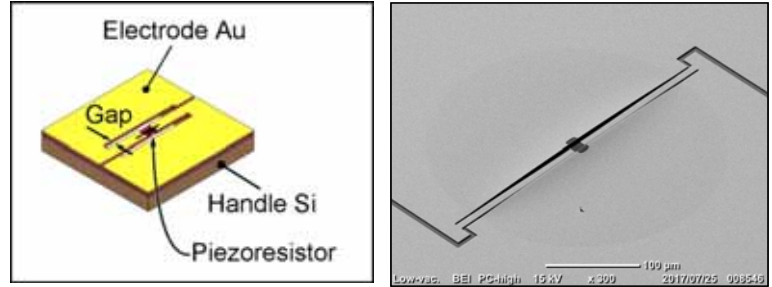


これまでの成果

SAセンサの構造



振動検出部の概要およびSEM画像



課題 : 市販AEセンサより高感度かつ広帯域な周波数特性を持つSAセンサを実現

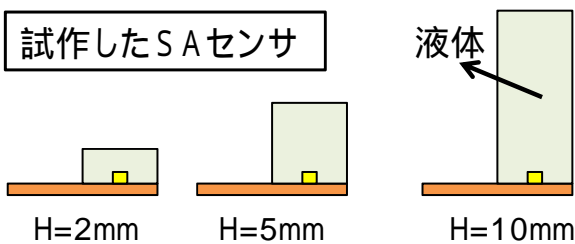
解決方法および結果:

- ・構造を最適化したMEMSセンサを試作。広帯域応答特性を確認
- ・30Hz ~ 1MHzで校正したセンサの感度を比較した結果、市販センサよりも高性能



これまでの成果

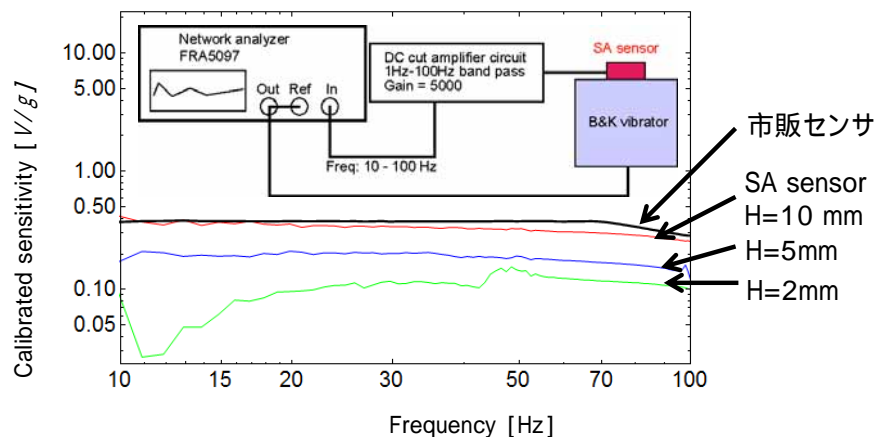
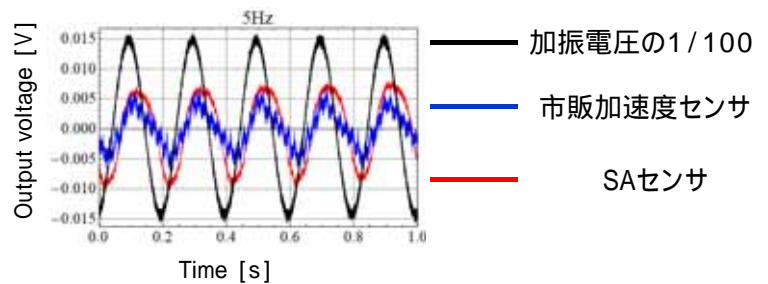
課題 : 低周波数領域においてSAセンサが加速度センサとしての性能を確認



- 橋梁での実証実験用のチップと同様
- チップ上の液体の高さを変えて評価

解決方法および結果:

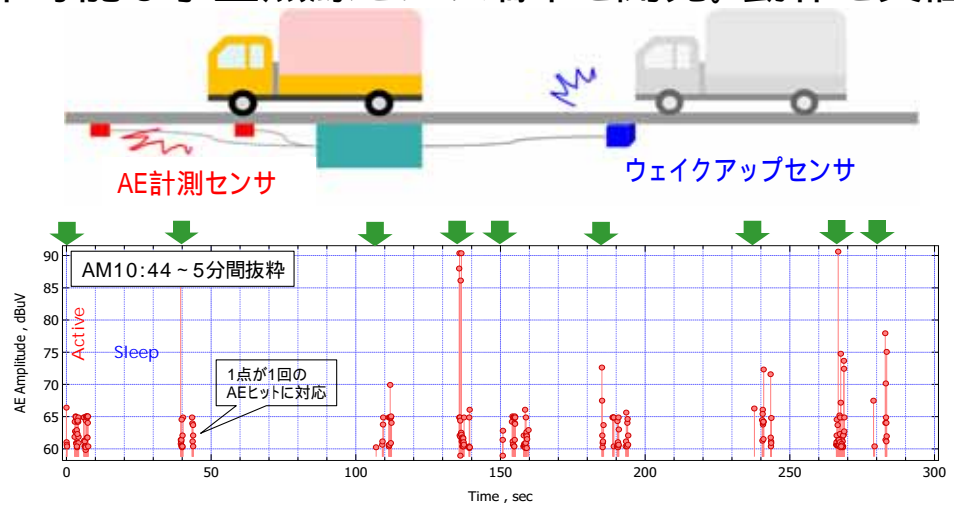
- ・MEMSチップ上の液体の高さを変えてセンサを試作。低周波数領域の応答特性を確認
- ・結果として、市販加速度センサと同等な感度を持つSAセンサを実現



## これまでの成果

### 小型センサ端末の開発とシステム実証実験

・電力消費抑制動作可能な小型無線センサ端末を開発。動作を実証



### 試作端末の橋梁への設置

- ・小型(100X70mm)
- ・920MHz帯無線モジュール
- ・自立発電モジュール接続

### イベントドリブン実測結果

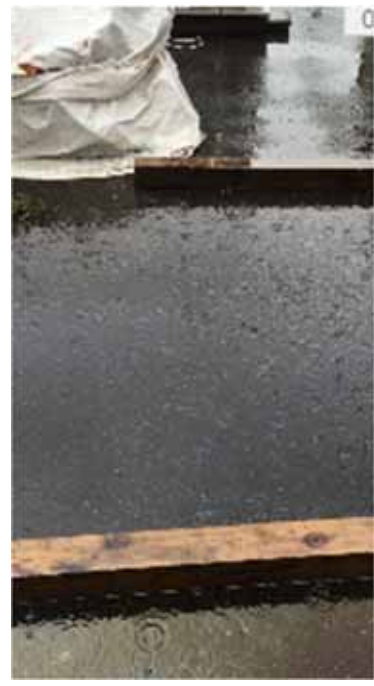
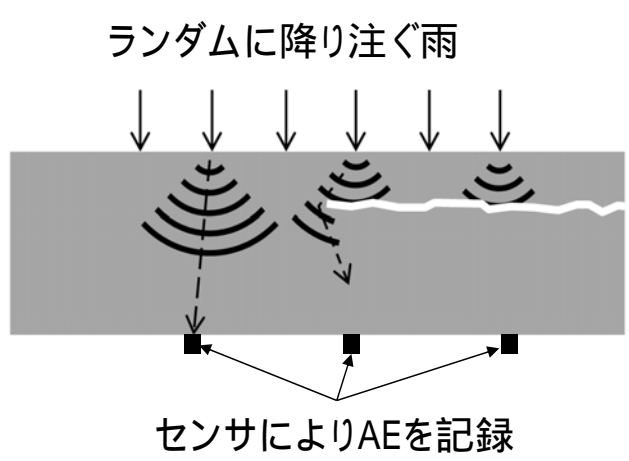
大型車走行時のみ起床し計測。その後スリープし、電力消費を抑制。高速道路橋梁にて大型車走行イベント(矢印部)で計測動作を確認(1分あたり1.8イベント)

## これまでの成果

### 橋梁構造の健全性定量評価手法の開発

・降雨により励起された弾性波を利用し、コンクリートの内部損傷を検知

### 手法の概念

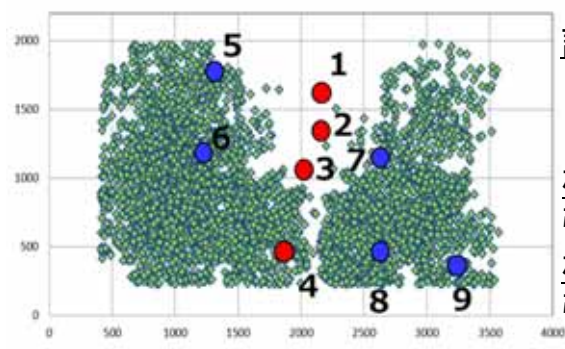


## これまでの成果 手法の実証



高速道路橋梁の床版にAEセンサを設置し、データを収集

### 震源位置標定結果



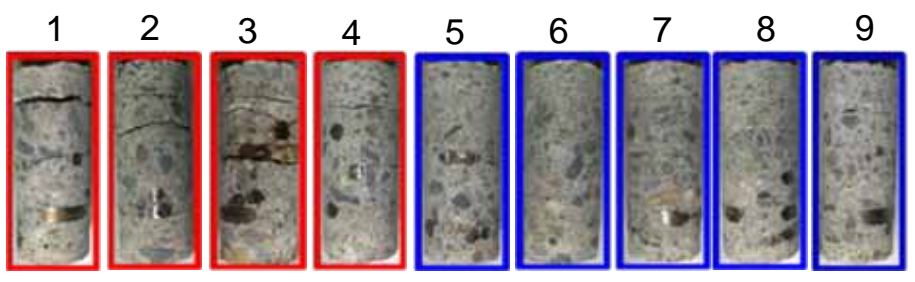
計測時間: 700秒  
(交通荷重の場合: 140時間)

標定点の多い部分: 弾性波が透過しやすい **健全**  
標定点の少ない部分: 弾性波が透過しにくい **損傷**

### コア試料分析



コア試料の採取



● 進行したひび割れを予測 ● これからひび割れが進行すると予測

外観上は検知できない内部損傷を特定可能なことを確認

NEMMS 技術研究機構

## これまでの成果

- 大規模インフラへの展開: プレストレストコンクリート(PC) 構造長大橋を対象に選定



候補高速道路橋梁  
PC 橋梁(箱桁)  
橋長: 372.3m



進入経路



進入口  
約70cm四方の開口。  
大型計器は搬入不可。

PC 箱桁構造を対象とした計測手法を検討へ



## 研究開発の概要と差異化ポイント

### 鋼橋の亀裂

- ・現状: 目視点検にて溶接部付近に塗膜割れ確認の場合、渦流探傷で亀裂を発見。ストップホール、溶接などの補修・補強を行った後経過観察。点検(5年に1度)、観察ともそこに人がいかないとできない。

- ・ニーズ: センサで亀裂の進展や発生を早期発見して、軽微なうちに補修・補強したい

**目的** 鋼橋の亀裂を観察、発見、予測可能なひずみセンサアレイを開発する

### 従来技術の課題と解決方法

- ・箔ひずみゲージは消費電力大、アレイ化の施工困難、配線が複雑

- ・フレキシブル基板等樹脂材料の耐久性が低い

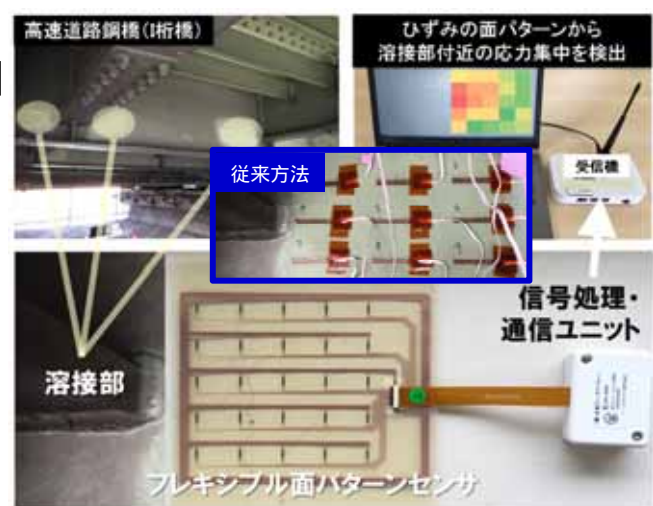
フレキシ上ひずみセンサアレイからデータ通信

接着シート貼り付けによる簡単施工

有機無機複合UV・水蒸気配線保護フィルム

- ・静ひずみに通行車両由来の動ひずみが重畳する、動ひずみは車重に依存

動ひずみピーク値の分布の面パターンから応力集中、異常増大をモニタリング



フレキシブル面パターンセンサの設置イメージ

## これまでの成果

### 従来技術の課題

- ・市販ひずみゲージは消費電力大、アレイ施工困難、配線が複雑

### 方法

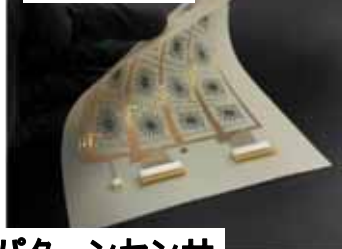
- ・MEMS技術で作製した高感度極薄PZT/Siセンサや、印刷による低コストひずみゲージをフレキシ板上にアレイ化

- ・Amp、ADC、MCU、RF-IC集積モジュールでデータ処理、通信

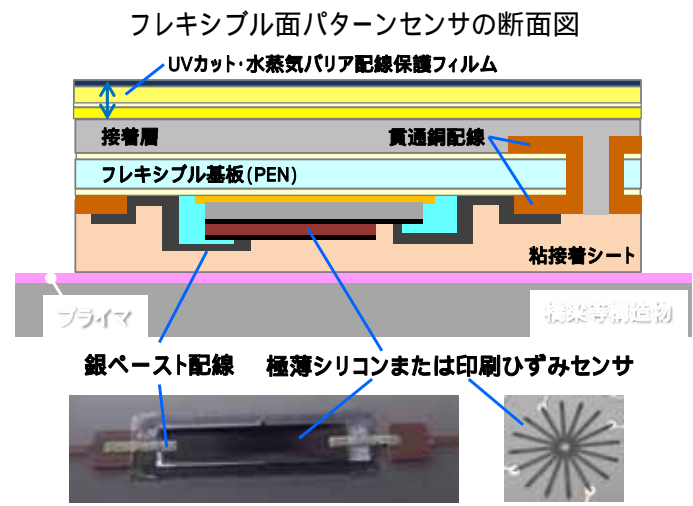
極薄シリコンタイプ



印刷タイプ



フレキシブル面パターンセンサ



## これまでの成果

### 従来技術の課題

- ・フレキシブル基板等樹脂材料の耐久性が低い
- ・面積が広いため接着剤での施工が困難

### 方法

- ・有機無機複合UV・水蒸気配線保護フィルムをラミネート
- ・保護フィルム、フレキシブル基板、粘接着シートの集積化
- ・日光を当ててプライマ塗布表面に貼るだけの簡単施工

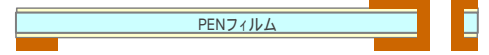


フレキシブル面パターンセンサの実橋への施工

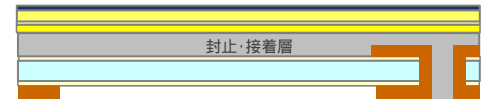
1: 配線保護フィルム作製 (PET、無機バリア層)



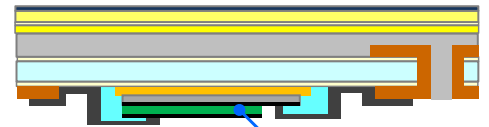
2: フレキシブル回路基板作製 (銅貼PEN)



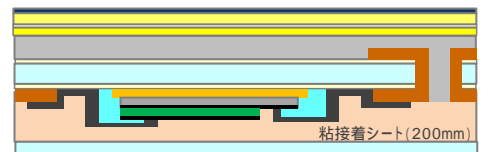
3: 配線保護フィルム + フレキシ回路基板貼り合せ



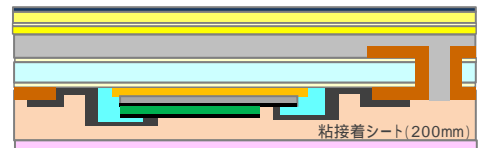
4: 極薄PZT/Siをフレキシ回路基板に転写、配線 (前ページ)



5: 粘接着シート貼り合せ



5: UV照射 プライマ塗布構造体に貼り付け



### 構造物

配線保護フィルム、センサ集積フレキ基板、粘接着シート、集積化プロセスと施工

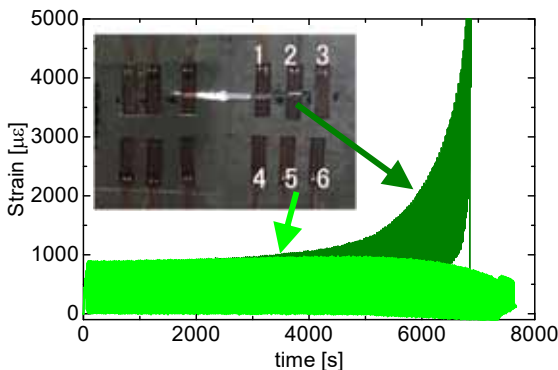
## これまでの成果

### 従来技術の課題

- ・静ひずみは通行車両の動ひずみが重畳、温度依存性大
- ・動ひずみは車重に依存

### 方法

- ・動ひずみピーク値の分布の面パターンから応力集中、異常増大のモニタリングにより亀裂を観察、発見、予測



試験体で亀裂進展時の動ひずみ測定

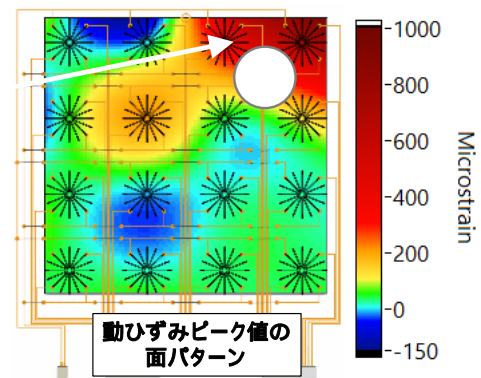


高速道路箱桁内におけるフレキシブル面パターンセンサの実証試験

電力	駆動時	待機
アンプ、ADC	11.84mW	0mW
MCU、RFIC	111mW	0.037mW

常時駆動 123mW  
 毎時10分間 20mW  
 小型太陽電池で駆動可能

通信ユニット消費電力



動ひずみピーク値の面パターン

- ・亀裂通過時の動ひずみ振幅 > 1000με
- ・開発センサ感度で亀裂の観察、発見が可能

## これまでの成果 大規模インフラへの展開(ダムクラックモニタリング)

### 従来技術の課題

- ・クラックゲージの目視点検による経過観察
- ・ダム監査廊内は閉鎖空間のため通信環境が悪い

### 方法

- ・ひずみとクラックの開口変位の相関を調査
- ・亀裂終端の前方にセンサを施工して進展を監視
- ・複数の中継機を経由させる通信システムを検討



ダムにおけるクラック観察の現状

ダム監査廊内のクラックにフレキシブル面パターンセンサを施工



NMEMS 技術研究機構

# 道路付帯構造物傾斜センシングシステムの開発(1)

## 研究開発の概要と差異化ポイント

### 開発の背景

- ・付帯設備の老朽化進展と技術者不足
- 日常点検 目視による異常な揺れや変形の確認
- センシングシステムによる点検業務の効率化
- 判定の定量化、状態変化の常時監視

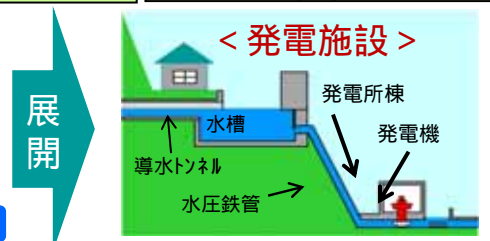
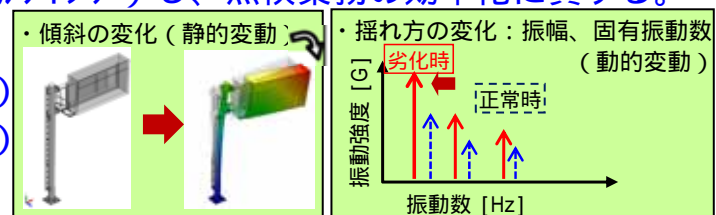
### 開発の目的

- ・傾斜マルチセンサ端末を開発し、道路付帯物の劣化・損傷を、「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により状態変化を検出(フィルタリング)し、点検業務の効率化に資する。



### 傾斜マルチセンサ端末概要

- ・傾斜、振動、温度を同時計測(マルチセンサ)
- ・自立電源、無線通信(コードレスセンサ端末)
- ・上位での高度解析対応
- (1)複数センサ間の時刻同期
- (2)高速無線通信による大容量データ送信
- ・高速道路(実フィールド)での実証
- ・大規模インフラ(発電施設)への展開



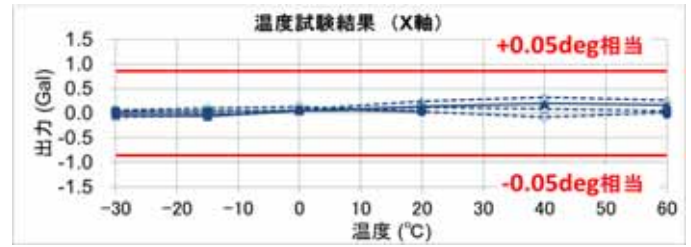
NMEMS 技術研究機構

## これまでの成果

MEMSセンサデバイスの開発(静電容量式加速度センサデバイス)

### 開発目標

- 傾斜計測の出力安定性:  $\pm 0.05\text{deg}$
- 振動計測の分解能:  $0.1\text{gal}$

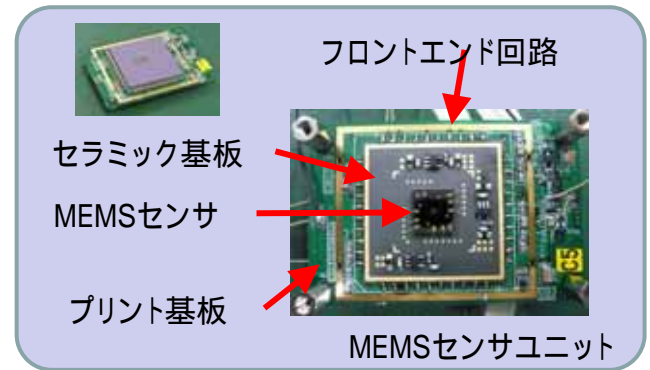


原理試作品 温度安定性評価結果

### 成果概要

- MEMSセンサデバイス構造の構造最適化、及びユニット構造化
- 原理試作品により 温度安定性:  $\pm 0.05\text{deg}$ を達成

- ユニット構造化(小型化)品
- MEMSセンサユニット構造化品製作、評価中

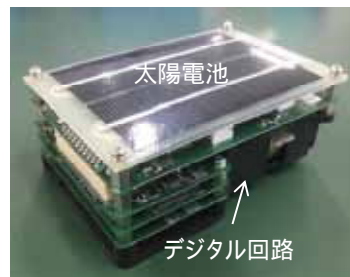


## これまでの成果

傾斜マルチセンサ端末の開発

### 開発目標

- 傾斜・振動・温度を同時測定
- 太陽電池による自立電源化
- 複数センサ間の時刻同期 ( $\pm 1\text{msec}$ )
- 大量データ(900kB/3分間)を平均0.5mWで無線送信



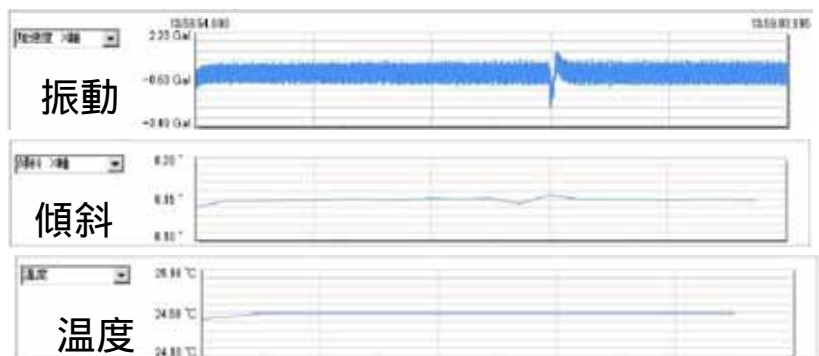
傾斜マルチセンサ端末  
インナーユニット



傾斜マルチセンサ端末外観  
(寸法70×100×50mm)

### 成果概要

- ) センサ端末製作完了
- 情報板へ設置・実証評価準備中
- ) 傾斜・振動・温度の同時計測確認
- MEMSセンサデバイスの高安定化定
- ) 無線通信確認
- 実環境による無線通信確認
- ) 太陽電池での動作確認



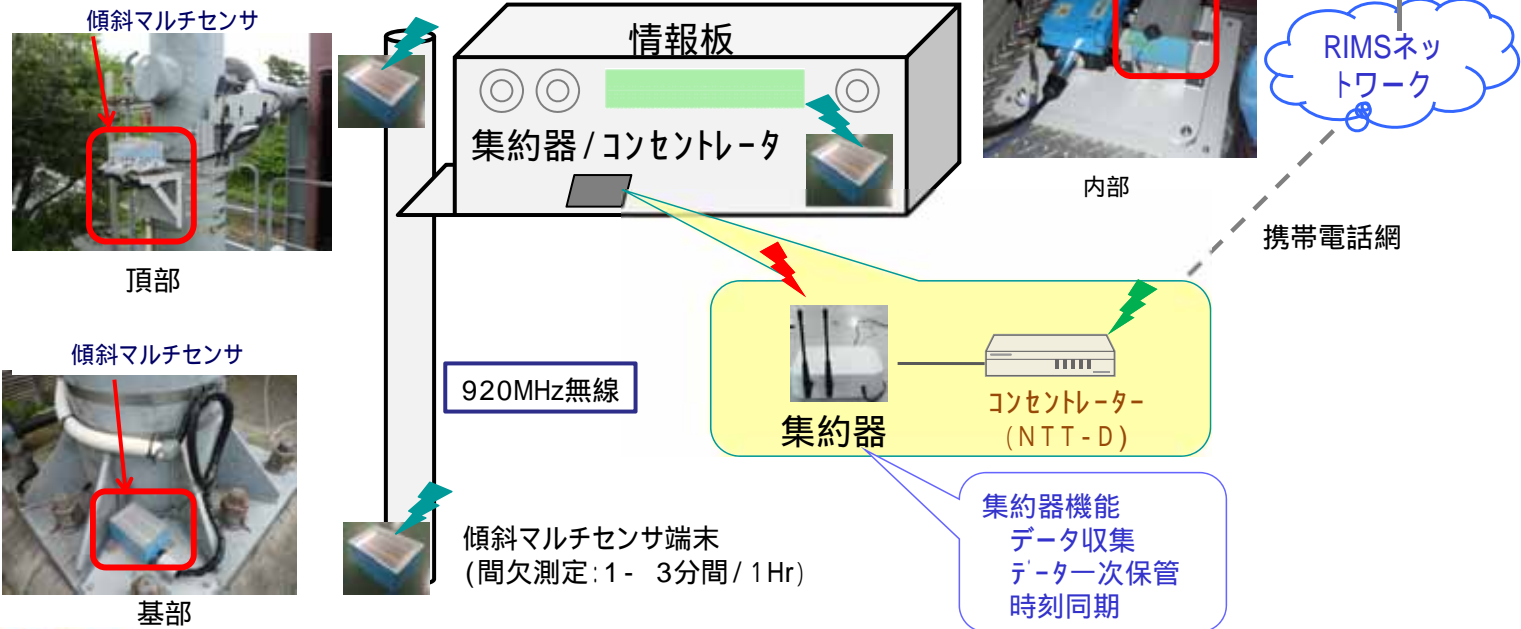
傾斜マルチセンサ端末出力例

低消費電力化、日照データによる連続稼働シミュレーションによる確認、ランニング試験評価中

## これまでの成果

### 実証実験センシングシステム

- ・集約器の設計製作・動作試験完了
- ・計測システムの実環境での動作確認完了
- ・実証実験サイトに設置、立上・調整中



## これまでの成果

### 実証実験場所の選定と先行フィールド試験の実施

- ・実証実験場所: 東名高速道路 吾妻山トンネル入口情報板
- ・先行フィールド試験の実施 (既存センサにて実施)
- データ収集: 無線通信 (携帯電話回線) にて遠隔からデータをダウンロード



## これまでの成果

システム構築と実証実験 (先行フィールド試験実施状況)  
 卓越周波数計測データ: 2015/12/16 ~ 2017/2/23 (435日間):  
 加速度 卓越周波数1次の温度特性

卓越周波数は略支柱温度と相関があり、支柱材質のヤング率温度特性の影響と考えられる。  
 現地調整作業による重量増により、通常時の範囲を超えた変動を確認。

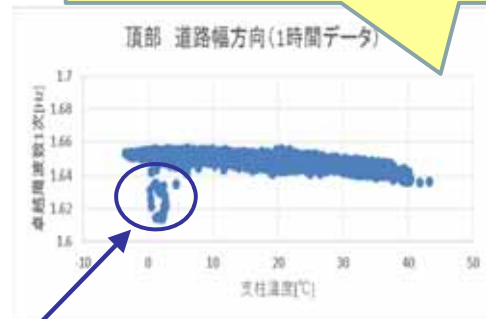
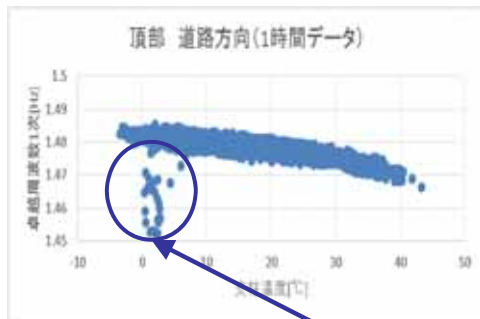
### 卓越周波数と支柱温度との相関



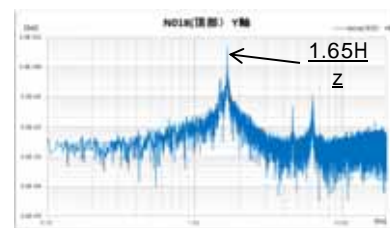
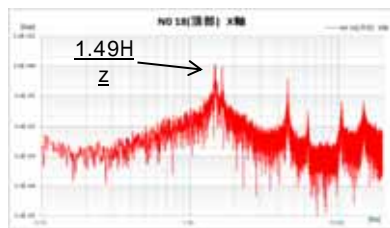
頂部

基部 内部

東名) 吾妻山トンネル入口情報板



現地調整作業(重量増)に伴う変動



NMEMS 技術研究機構

## これまでの成果

システム構築と実証実験 (先行フィールド試験実施状況)  
 傾斜・温度計測データ(時系列トレンド):  
 2015/12/16 ~ 2017/2/23 (435日間)

平均値は年間を通して変動が小さく安定している。  
 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。

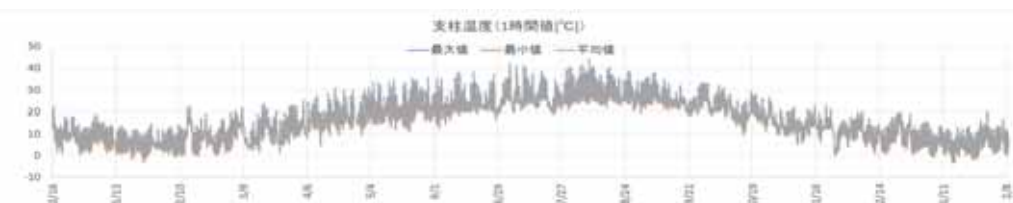
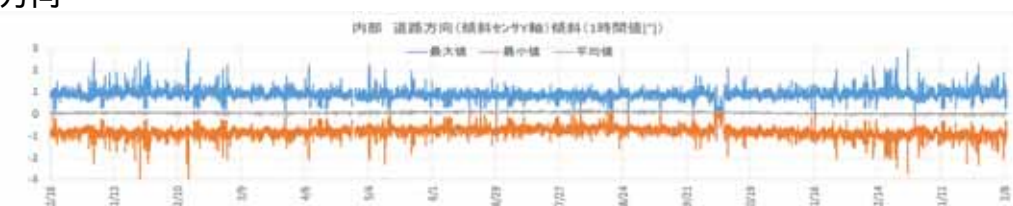
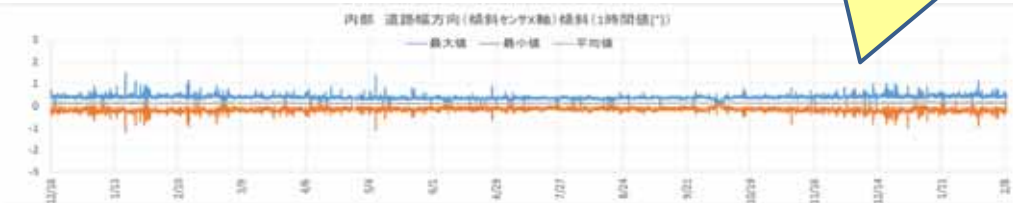


内部道路幅方向

内部道路方向

支柱温度

東名) 吾妻山トンネル入口情報板



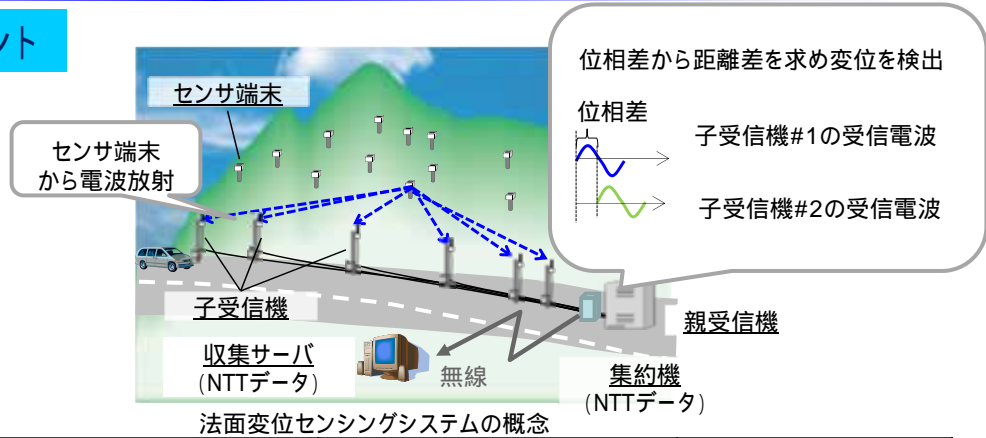
NMEMS 技術研究機構

## 研究開発の概要と差異化ポイント

地すべりなどによる道路法面の変動の予兆を検知するため、電波位相差により高計測頻度・全天候・3次元で法面変位を高精度計測

端末間の無線メッシュネットワークによる広範囲計測

天候・昼夜を問わず長期間動作する多機能型センサ端末の開発

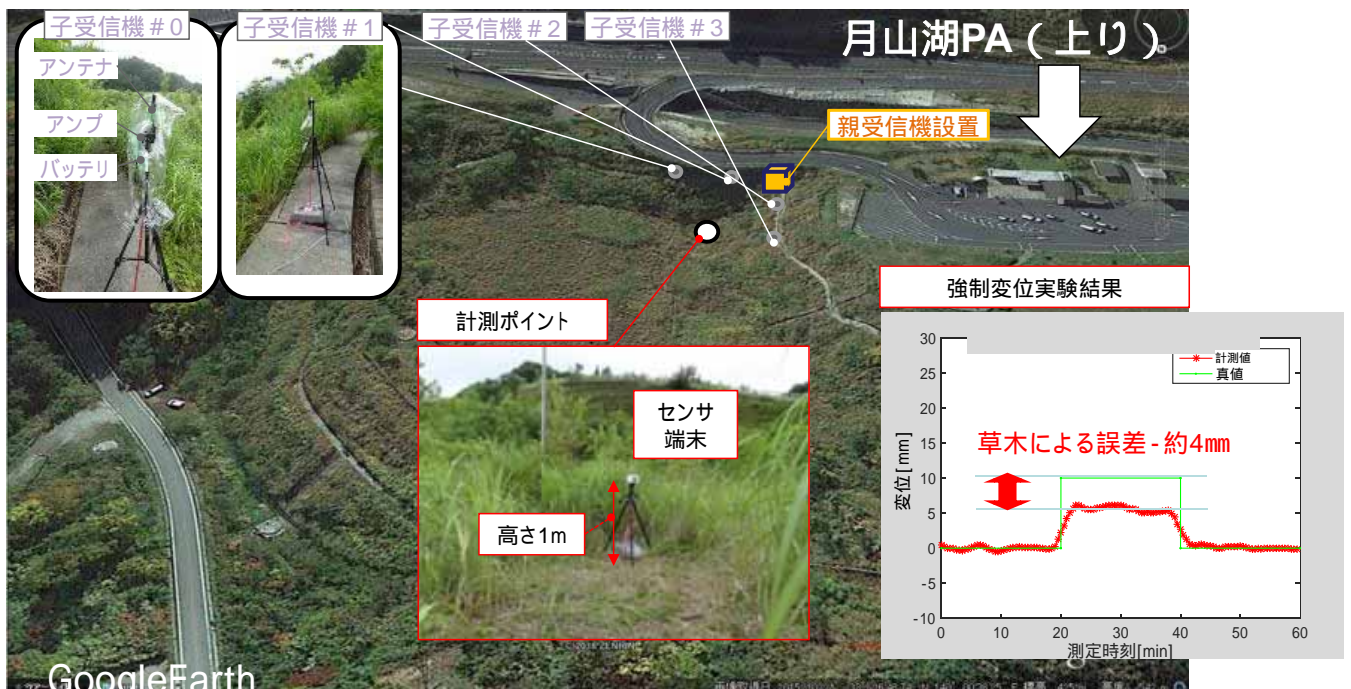


方式	電波利用		光波利用	ワイヤー利用
	電波位相差	GPS	光波測量器	伸縮計
システム概要図				
計測頻度	1時間に1回以上	1日に1回	1時間に1回以上	1時間に1回
精度	1mm以下	数mm	1mm	1mm以下
耐悪天候			× 大雨, 霧で精度劣化	
3次元計測				× 1次元

## これまでの成果

## 原理検証実験

月山湖PA付近の法面で事前実験を実施し、草木の影響により変位計測誤差の増加を確認

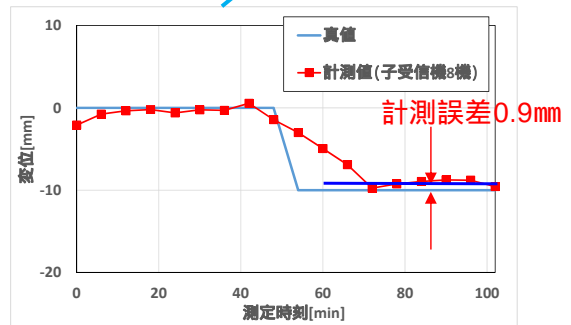
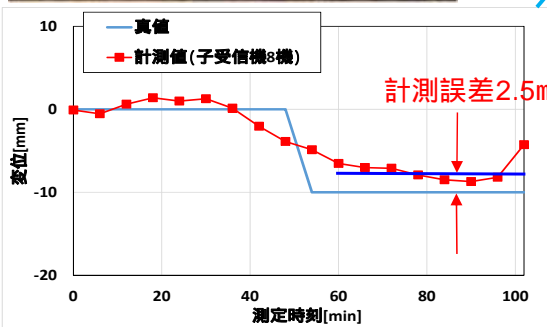
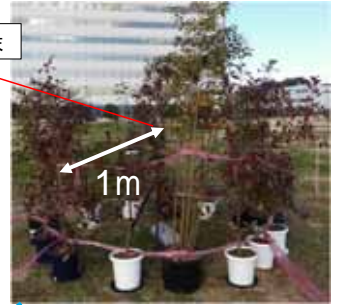
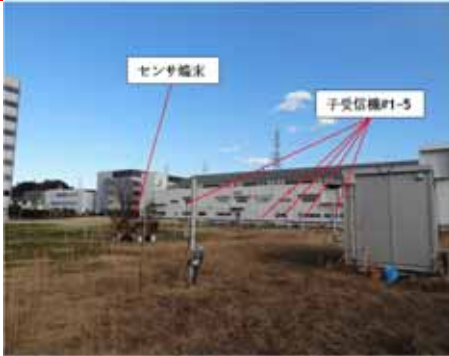


## これまでの成果

## 原理検証実験

センサ端末周辺の草木の影響が支配的であることが分かり、草木を周囲1m程度離すことで変位計測誤差を大きく低減可能なことを追加実験で検証 端末周囲の草木のみ除去すれば所要精度を確保可能

子受信機 #6~8は写真の左側に設置



センサ端末周囲半径0.3mに草木設置 (子受信機8機)

センサ端末周囲半径1mに草木設置 (子受信機8機)



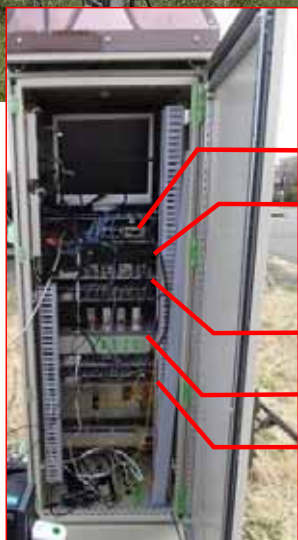
## これまでの成果

## 実証実験向け試作機

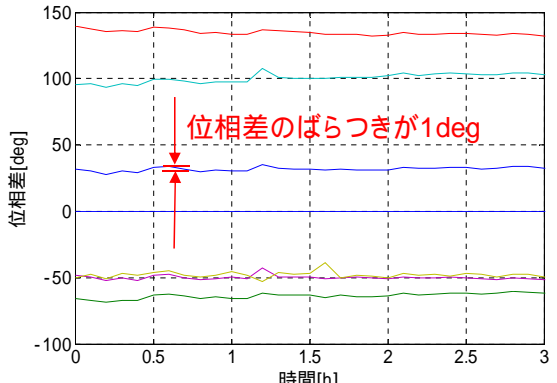
実証実験用の試作機が完成し、設計値以下の精度で位相差を計測できることを確認



- 子受信機
- ・アンテナ
  - ・RF基板
  - ・O/E変換



- 信号処理部
- RF部 (Ch1 ~ 8)
  - E/O変換器 (Ch1 ~ 8)
  - RF部 (Ch9 ~ 16)
  - E/O変換器 (Ch9 ~ 16)

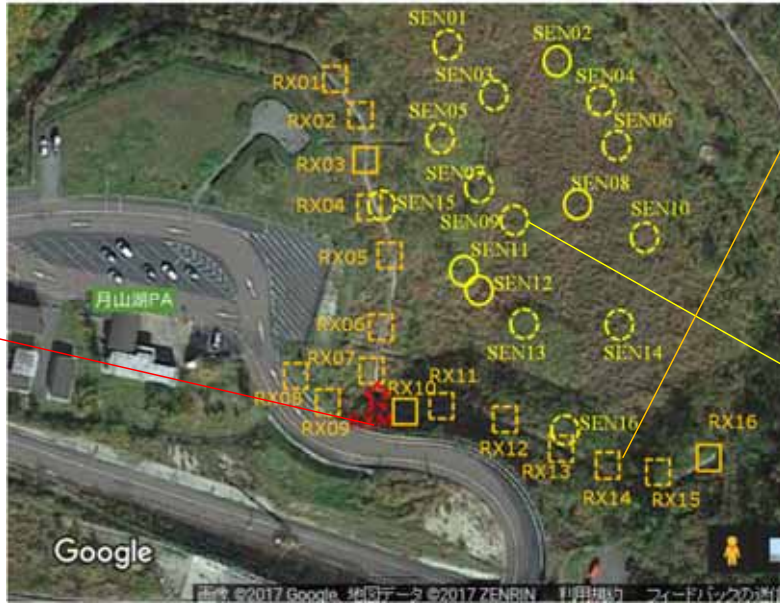




## これまでの成果

センサ端末16台、子受信機16機を現地(月山湖PA斜面)に設置し、実証実験を実施中

## 実証実験現場の全体図



### 子受信機



固定点に設置した子受信機

### センサ端末



耐雪カバーを取り付けたセンサ端末

### 親受信機



子受信機の受信信号を集約し測位計算する親受信機



センサ端末設置ポイント (SEN05,07,09,11)

NMEMS 技術研究機構

# 無線通信ネットワーク共通プラットフォームの開発(1)

## 研究開発の概要と差異化ポイント

### 課題

道路インフラの老朽化や定期点検要領の更新などにより、**多種多様なセンサ**が設置されるに伴い、**通信基盤の重複**による非効率

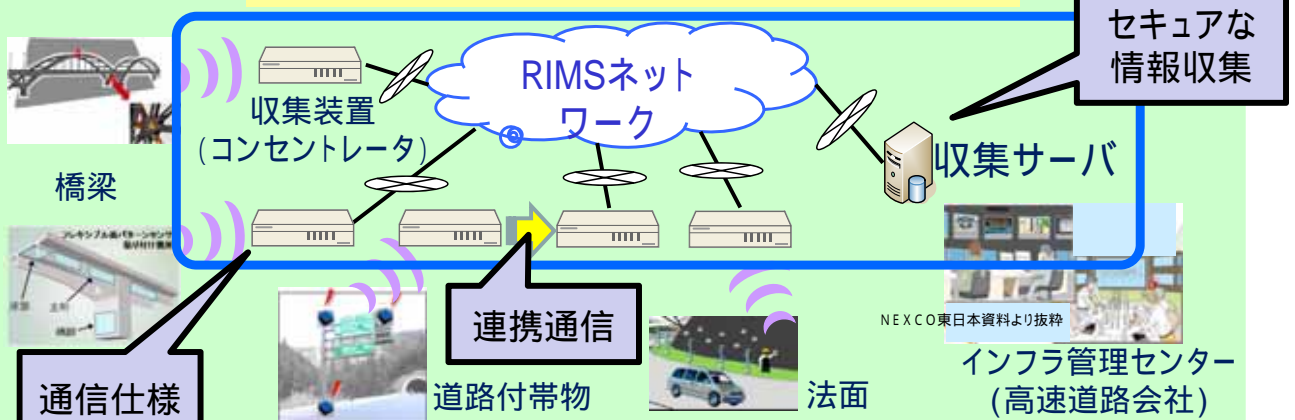
### ニーズ

多種多様なセンサ/メーカー、監視目的に対応する**オープンなネットワーク通信基盤**が求められている

### 差異化ポイント

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  
設置容易性とコスト対策を目的としたコンセントレータ間の連携通信  
セキュアな情報収集への対応

## 無線通信ネットワーク共通プラットフォーム



通信仕様の開発

道路インフラモニタリングシステム(RIMS)

NMEMS 技術研究機構

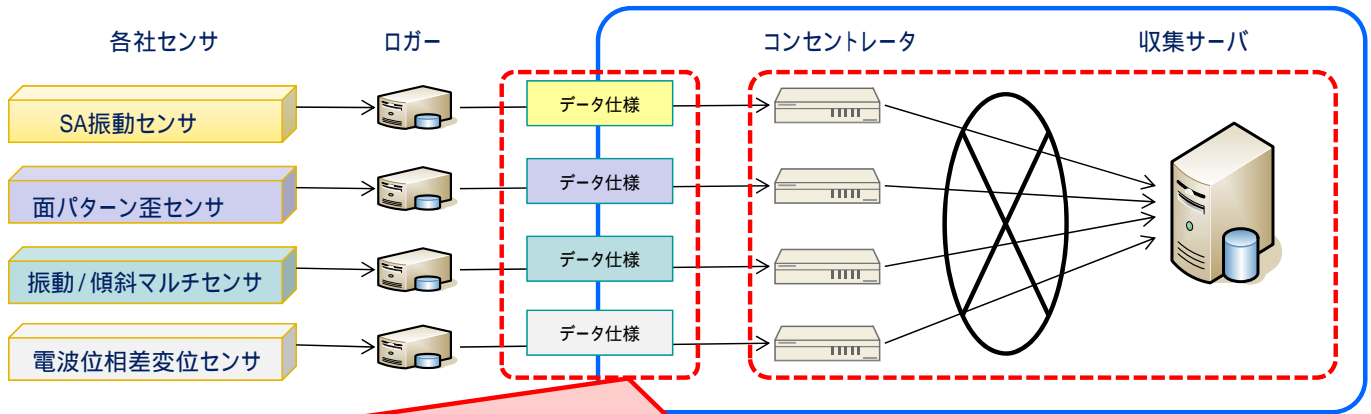
## これまでの成果

多種多様なセンサに対応するための通信仕様の開発

共通インターフェースをもとに各社のデータフォーマットと通信仕様を確定

各社センサデータをコンセントレータで受信し、格納サーバへデータ格納を実施

### 無線通信ネットワーク共通プラットフォーム



共通的なインターフェースで多様なデータ仕様を吸収するため、多種多様なセンサ対応が容易。

共通インターフェース

NMEMS 技術研究機構

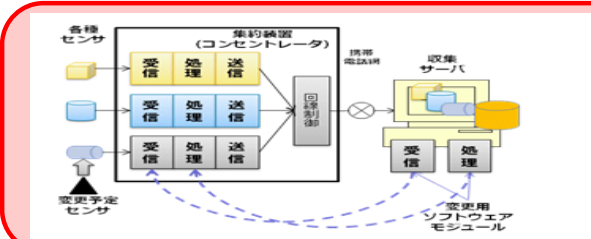
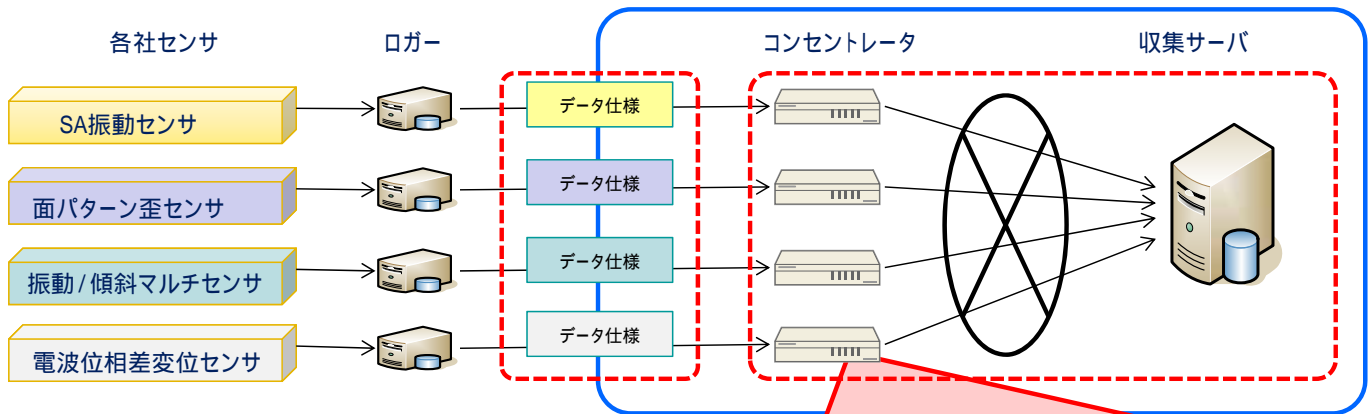
## これまでの成果

多種多様なセンサに対応するための通信仕様の開発

受信モジュールを独立させ遠隔にて変更可能であること検証済み

収集サーバ側からコンセントレータ内の受信モジュール変更を実施

### 無線通信ネットワーク共通プラットフォーム



各モジュールを独立させることで変更に伴う処理を最小限にできるため、データ送信への影響を最小限にできる。コンセントレータ設置現場での作業も不要。

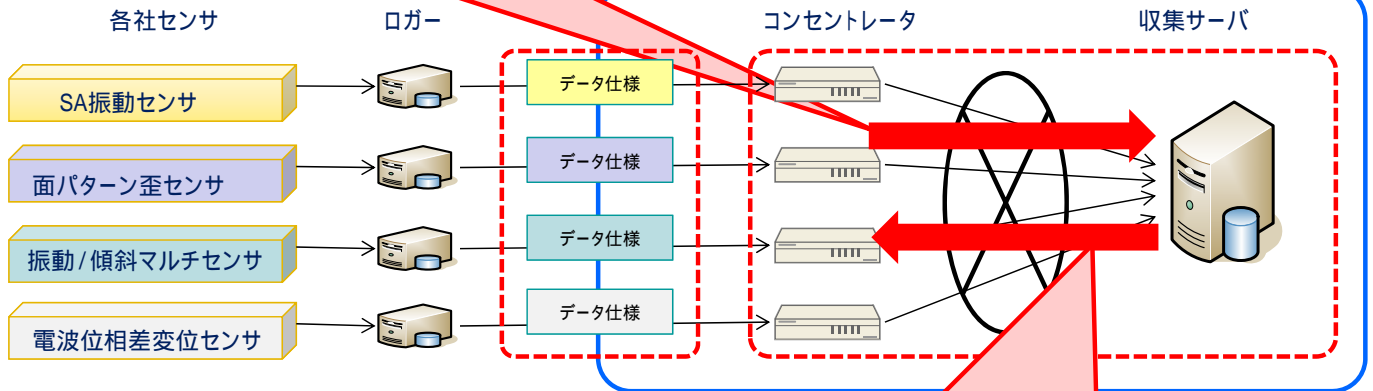
NMEMS 技術研究機構

## これまでの成果

セキュアな情報収集

データは独自暗号化方式、内部モジュールの遠隔変更はSSL暗号方式を実装し、通信のセキュリティ対策を実施

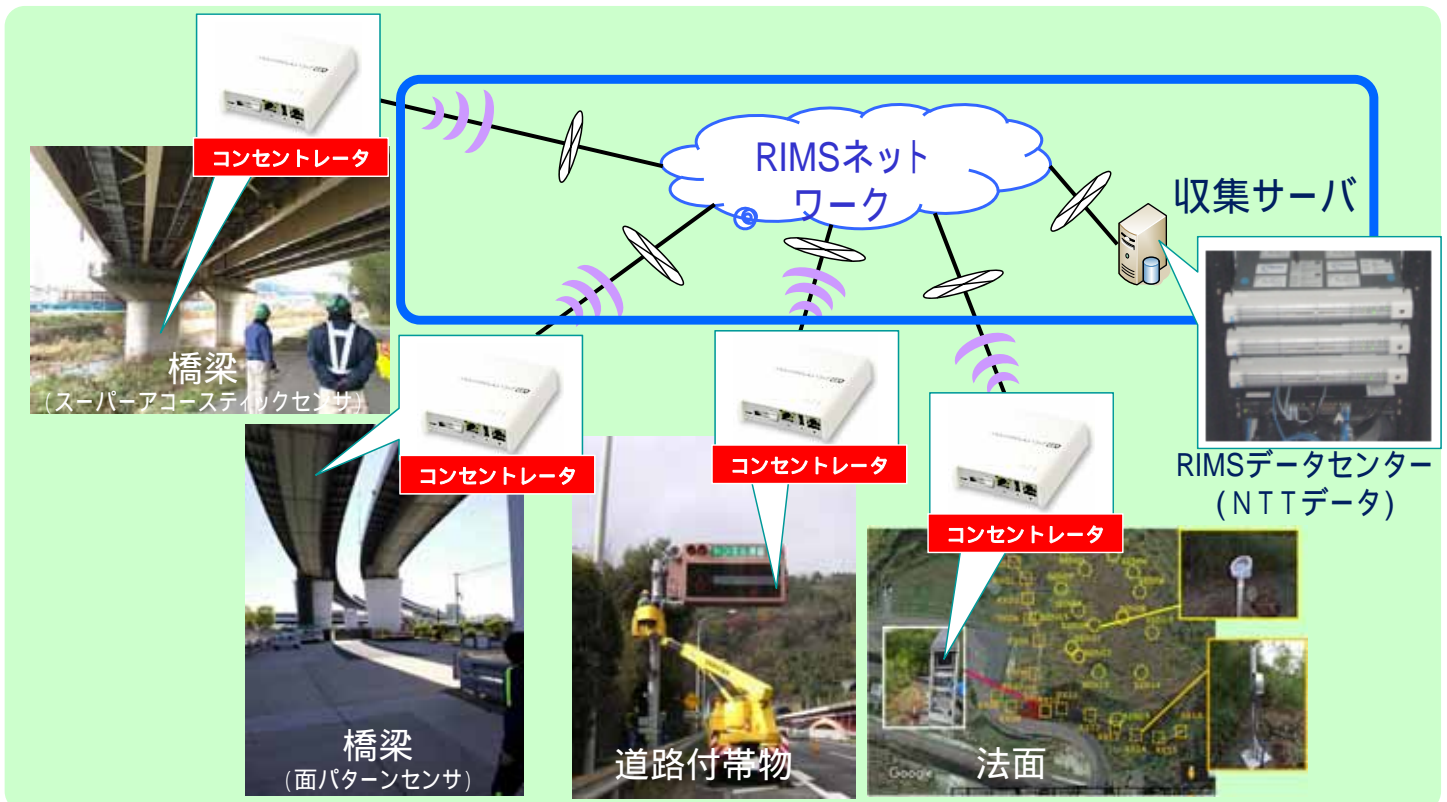
コンセントレータから収集サーバへのデータ送信は、独自暗号化方式で通信。



収集サーバからコンセントレータへの遠隔モジュール変更は、SSL暗号化方式で通信。

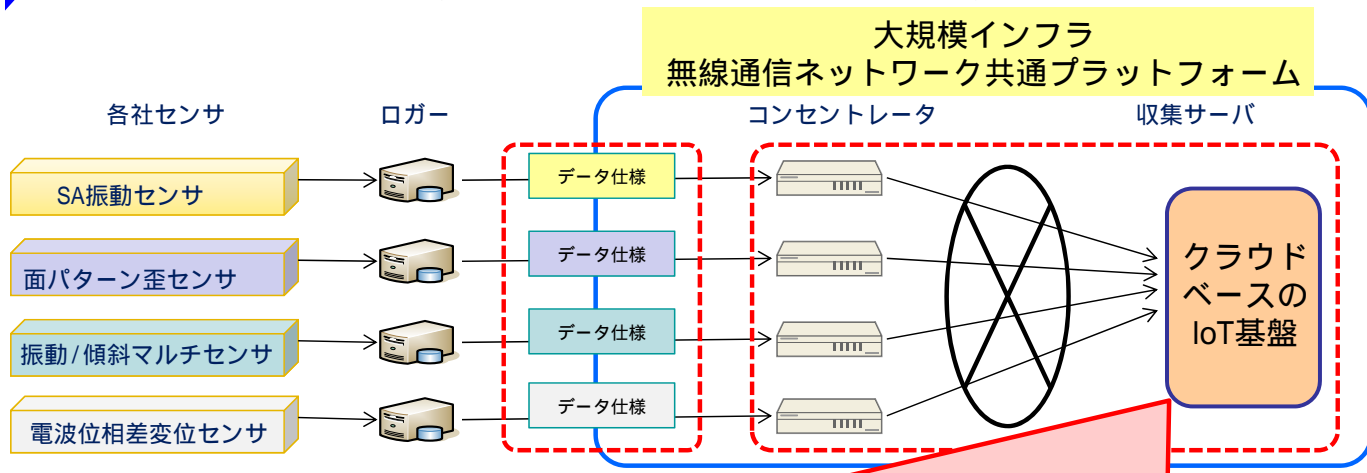
## これまでの成果

### 現地実証無線通信ネットワーク共通プラットフォームの構築

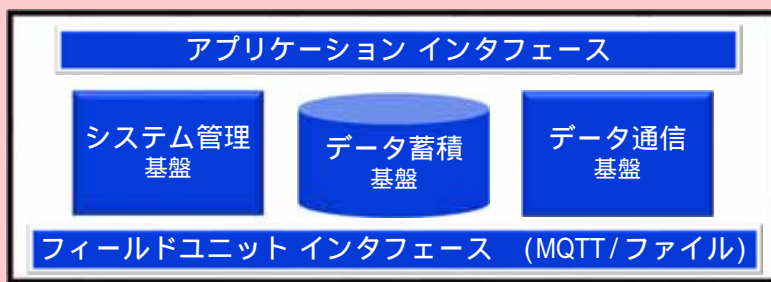


## これまでの成果

大規模インフラへの展開を踏まえ、クラウドベースでのプラットフォームの構築  
 大量センサ設置を想定し、処理性能と効率の向上を検証中。



クラウドベースのIoT基盤とすることで、リソースの効果的活用を可能とする。



# 高耐久性パッケージング技術の開発(1)

## 研究開発の概要と差異化ポイント

### 高耐久性化

#### 設置する自立型無線センサ端末の環境

設置環境が、屋内と比べて厳しい。  
 ・過酷な環境下でも安定的に動作しなければインフラ分野では適用困難

インフラの寿命や点検サイクルに比してシステムの寿命が著しく短い場合は適用困難  
 道路及び大規模インフラ環境ストレスに、少なくとも10年間性能維持できる高耐久性パッケージで保護された自立型無線センサ端末が必要

### オールインワンパッケージング

#### 端末の長時間性能維持

全体として保護出来、かつ衝撃強度、電磁波伝導、光透過、熱伝導性能及び必要に応じて外部との電気的接続端子が確保できるセラミック型パッケージが必要

### 取り付け簡単施工性

#### 事業者にとって、施工性と維持管理は重要

コンクリート、鋼板との接着・接合強度が必要

ベースプレートに接着されたセンサ端末内蔵パッケージを現場で簡単取付け施工

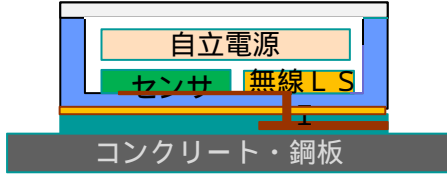
## 本研究の差異化ポイント

自立電源、無線モジュール、環境センサをオールインワンパッケージング  
 常時モニタリングを長期に保証するセンサ端末パッケージング技術  
 パッケージを構造物に強固接着/接合する簡易施工シート実装技術

## これまでの成果

### 最終目標

端末の回路すべてを、パッケージ内に収納したオールインワンパッケージング技術開発完了。



1. パッケージサイズ ; 7cm x 10cm x 5cm
2. 10年間の耐久性
3. 全体として保護し、アンテナを内蔵、光を透過して外部との電気的接続が確保できるパッケージ
4. パッケージを構造部材に現場で簡単取付け施工

### 技術開発内容

- (a) 高効率アンテナ内蔵LTCC基板及び透光性セラミック基板の開発 (NGK)  
100mm x 70mm x 50mm以下のパッケージ構造のLTCC基板と透光性セラミックを開発供給する。通信距離30mと無指向性を狙い、920MHz帯アンテナを内蔵したパッケージ構造基板を開発試作する。
- (b) 高気密封止接合技術の開発 (MMC)  
低融点接合材料を用いた目標リーク速度 $10^{-9} \text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{sec}$ 以下を満足する高気密封止特性を持つパッケージ実装開発試作する。
- (c) ベースプレート実装プロセス及び構造物への取り付け技術開発(DNP)  
各センサ端末に適したベースプレート構造の開発及び、様々な環境に応じたセンサ設置技術を開発する。
- (d) パッケージ評価用モジュールと耐久性加速試験法の開発 (MMC、産総研)  
道路インフラ使用10年間の耐久性を満足する加速試験法の開発・実施する。

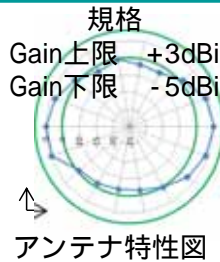


# 高耐久性パッケージング技術の開発(3)

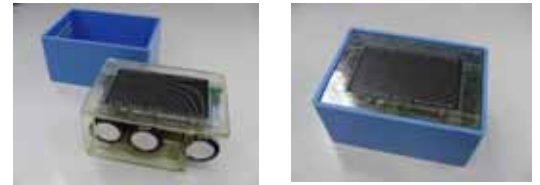
## これまでの成果

### (a) 高効率アンテナ内蔵LTCC基板及び透光性セラミック基板の開発 (NGK)

7cm x 10cm x 5cmの大型サイズ、かつ低指向性ダイバーシテイアンテナ付きのLTCCパッケージを完成した。

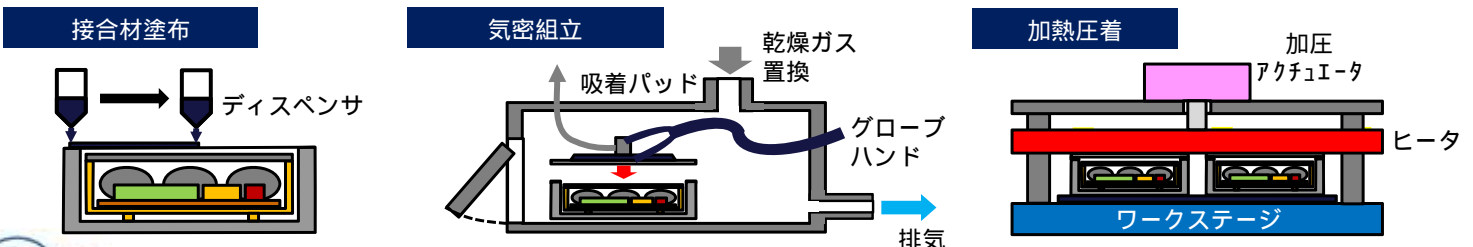


### 三菱端末パッケージ例



### (b) 高気密封止接合技術の開発 (MMC)

低融点接合材料を用いた目標リーク速度 $10^{-9} \text{Pa} \cdot \text{m}^3/\text{sec}$ 以下を満足する高気密封止特性を持つ封止工程を開発した。



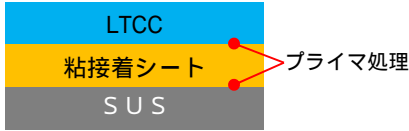
## これまでの成果

### (c) ベースプレート実装プロセス及び構造物への取り付け技術開発(DNP)

コンクリート、鋼板、ステンレスと、LTCCとの接着強度0.4MPa以上を満足する粘接着シートを開発した。  
屋外10年相当の耐久加速試験（JISA5557をベース）においても接着強度の規格を満足した。  
各種センサの様々な実証現場環境（低温、高温、多湿など）でセンサ設置プロセスを検証中。

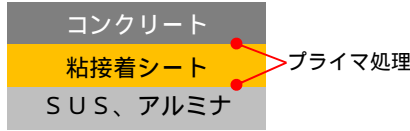
#### ステンレス（SUS）への接着

LTCCパッケージ / 端子引出用SUS基板



#### コンクリート面への接着

SAセンサヘッド / コンクリート床版



#### 鋼板（防食塗膜面）への接着

フレキシブル面パターンセンサ / 鋼板（鋼橋の防食塗膜面）



様々な構造物材料に対して接着性能を確認、屋外暴露試験においても良好な接着耐久性を示した。

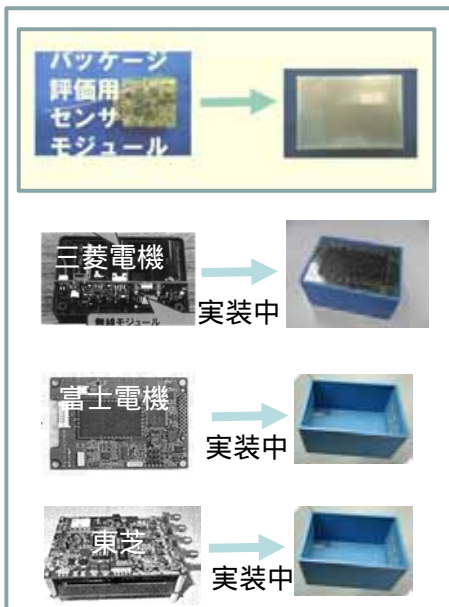


## これまでの成果

### (d) パッケージ評価用モジュールと耐久性加速試験法の開発（MMC、産総研）

・開発した評価モジュールを実装したパッケージを用いて、加速信頼性試験による耐久性評価をした。

#### パッケージ実装



#### 道路インフラでのパッケージ耐久性における重点課題



#### 加速信頼性試験による耐久性評価

塩水噴霧試験	腐食ガス試験	加速振動試験	ヒートサイクル加速試験	PCT試験 (Pressure Cooker Test)
NaCl5%塩水噴霧2h、40℃、93%を7日間；5サイクル	複合ガス SO <sub>2</sub> :25ppm, NO <sub>2</sub> :4ppm 高温40℃、高湿80% 500Hr	振動実測波形でのピーク値3倍印加 3.65日	-40℃ ~ 85℃ 4.5hr周期、200cycle	85℃, 85%, 不飽和蒸気圧, 800h
結果良	結果良	結果良	結果良	結果良



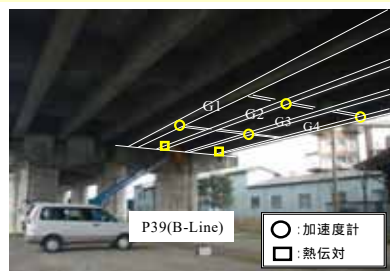
研究開発の概要と差異化ポイント

【開発内容】

【現状】

個別フィールドのモニタリングシステムはあるが、フィールドを跨った統合的なモニタリングシステムはない。  
 (例)  
 ・橋梁モニタリングシステム  
 ・法面モニタリングシステム  
 有線の長期モニタリングはあるが、無線センサによるモニタリングは一般的には1年未満の短期モニタリングであり、研究期間終了後はセンサを取り外している。  
 人や車両によるモニタリングは離散的であり、常時モニタリングできない。  
 人によるモニタリングは判定にバラツキが大きい。  
 点検困難なモニタリング箇所がある。

4つのフィールドで自立電源、無線センサネットによる2年の常時モニタリング実証実験を実施し、進行している劣化・損傷診断に必要な基礎データを取得する。データの一元管理化や統合データベース構築とネットワークを利用した閲覧の実証及び評価研究を実施する。一般道へ展開するために有用なパラメータを抽出する。



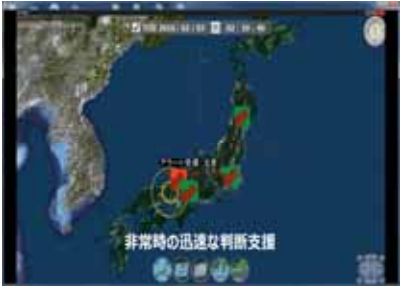
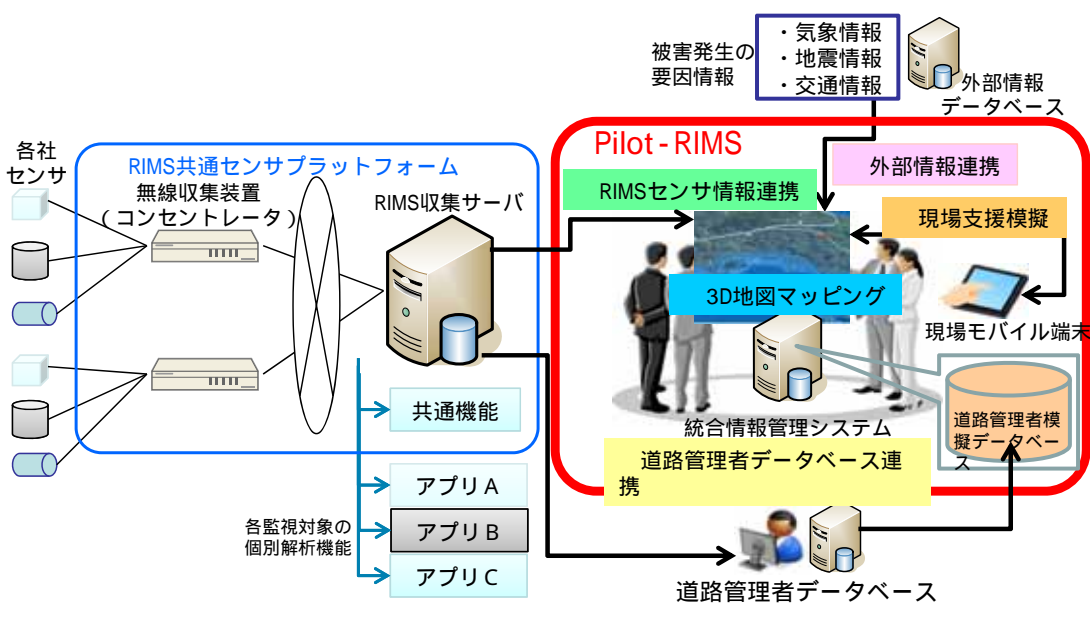
有線センサによる橋梁モニタリング 点検車によるモニタリング



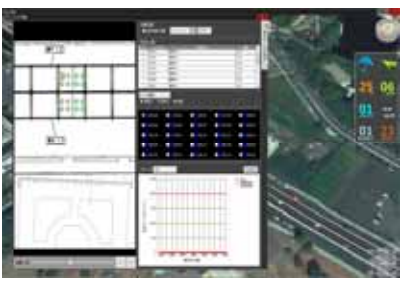
これまでの成果

RIMSセンサ間の連携及び外部情報や道路管理者情報との連携を模擬するエミュレータ (Pilot-RIMS) を開発

道路管理者の運用シナリオを作成し、具体的な業務支援内容や効果のデモを作成

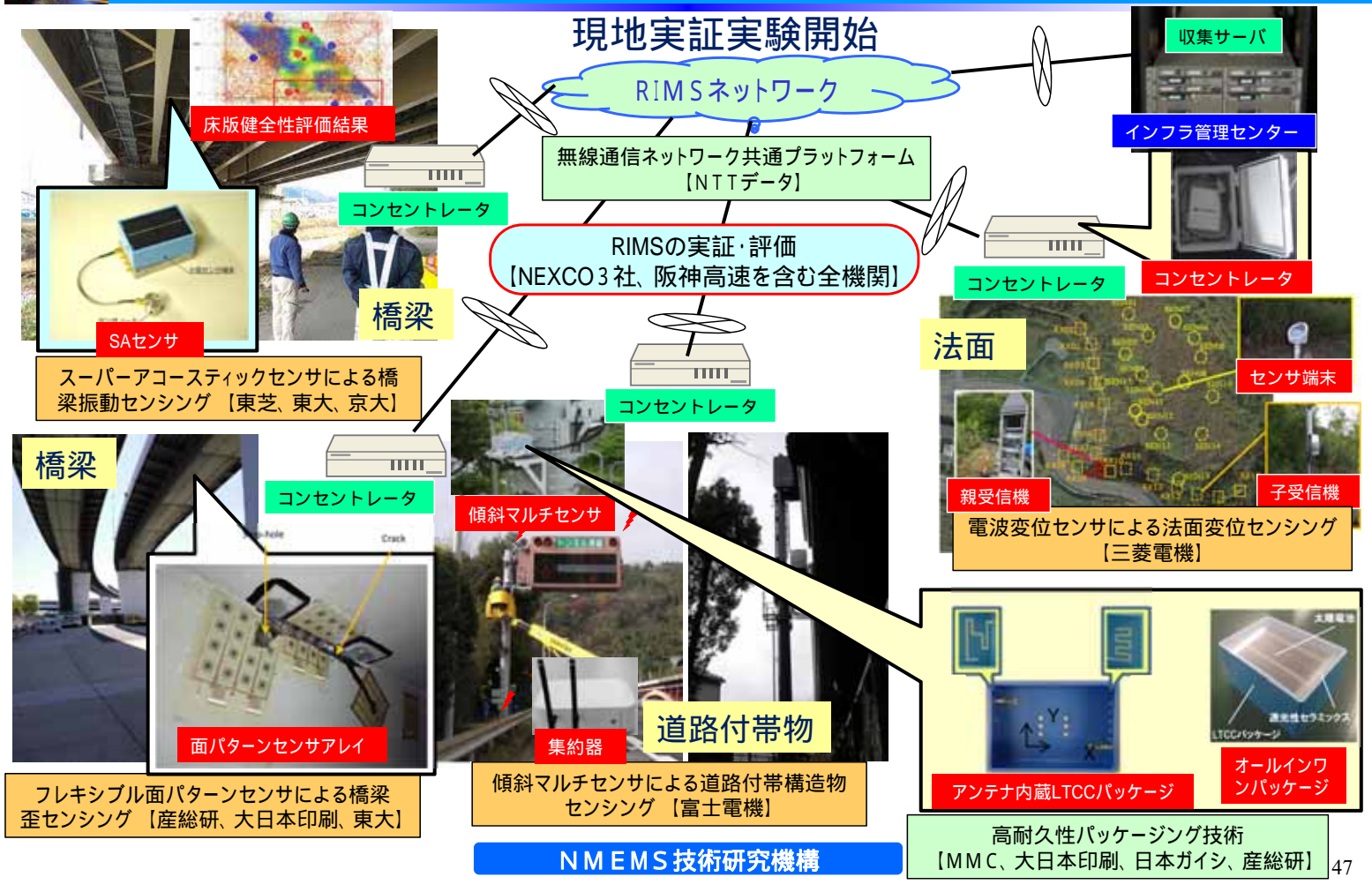


アラート表示画面例



センサデータ表示画面例





# 謝辞

本研究は、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) の委託研究業務の結果得られた成果です。