



NEDO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
①インフラ状態モニタリング用センサシステム開発

NEDOインフラモニタリング技術シンポジウム

(道路インフラ状態モニタリング用センサシステムの研究開発)

『道路付帯構造物傾斜センシングシステムの開発』

平成31年2月1日(金)@機械振興会館B2ホール

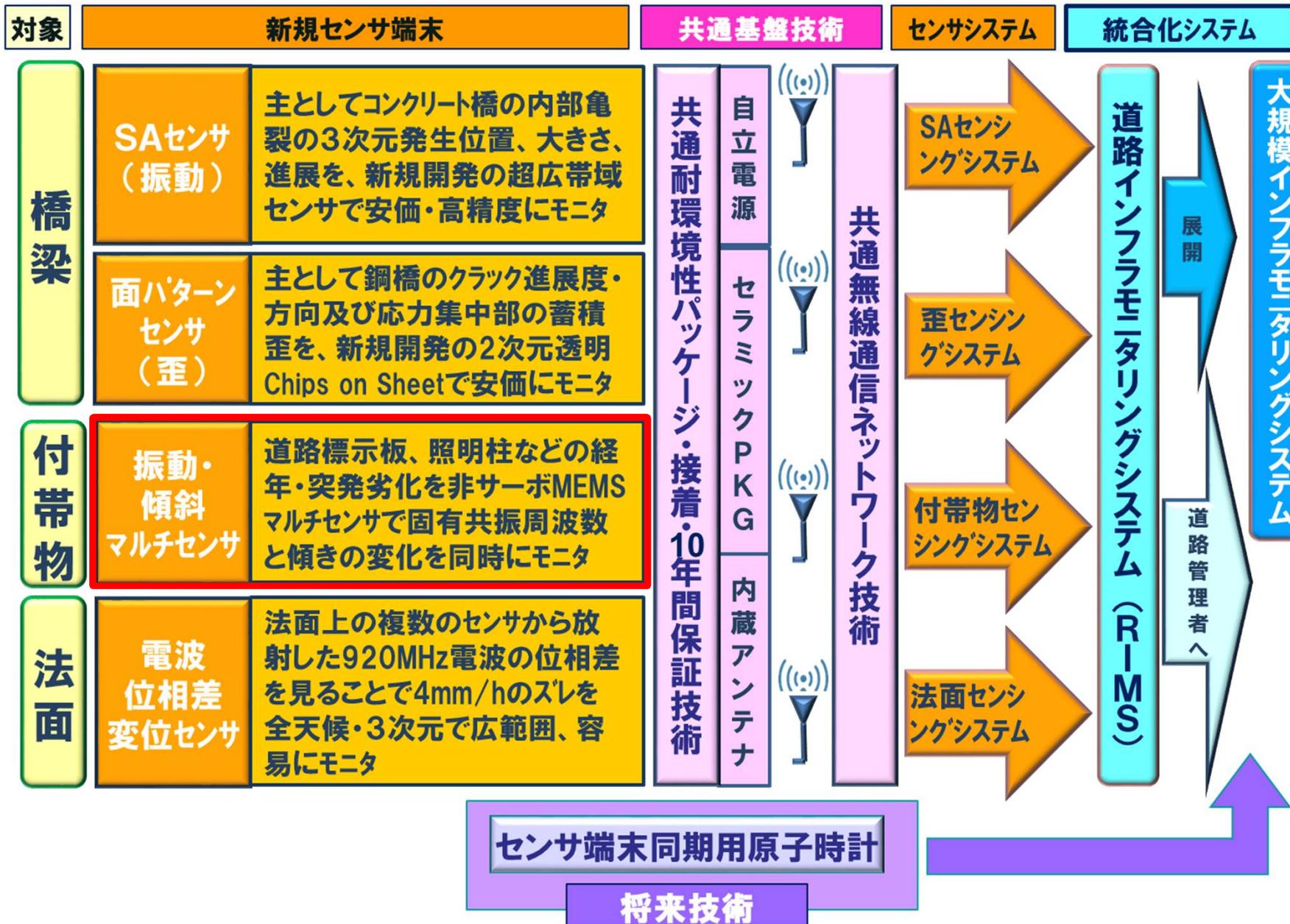
(委託先:技術研究組合 NMEMS技術研究機構)
(実施者:富士電機)



発表者:富士電機株式会社 機技術開発本部 先端技術研究所
システム技術開発センター システム基盤技術研究部
主席 矢尾博信



開発内容



対象とする社会課題と現状

◆道路付帯構造物点検の現状

- ・道路付帯設備の老朽化進展：
道路ネットワークの整備に伴い、道路付帯設備も増加。今後老朽化も進展する。
⇒補修・更新費用増大(財政的課題)
- ・少子高齢化の進展：
⇒メンテナンス技術者の不足(人的課題)
- ・点検の現状：
目視による異常な揺れや変形の確認が行われ、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。
⇒評価の定量化が困難

対象構造物

道路付帯物(情報板設備、照明設備等)



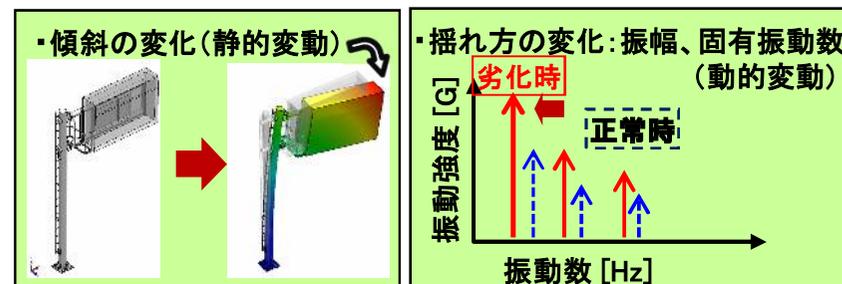
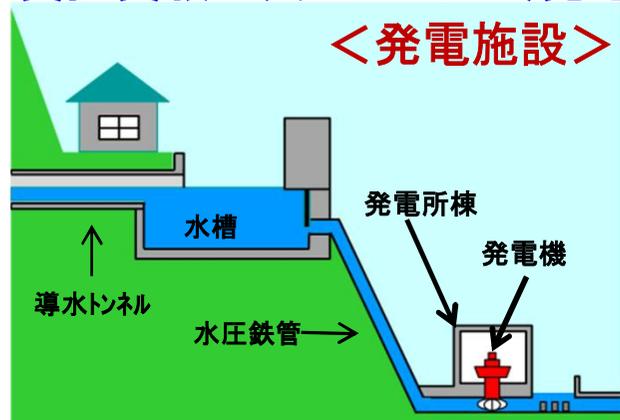
開発テーマ概要と差異化ポイント

◆研究開発の概要(課題)

・道路付帯設備の「**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して**状態変化を検出(フィルタリング)**し、**点検業務を高度化・効率化**。**数値化により判定品質を安定化**

◆目標

1. 3次元MEMS加速度センサ構造・プロセス(対称構造化、高アスペクトエッチング)と、回路の最適化による高分解能と安定性の向上
2. 自立電源、傾斜・振動・温度を1個のセンサで同時計測する非サーボ型加速度センサを搭載した高性能無線マルチセンサの実現
3. 実証実験+大型インフラ(発電施設)への展開



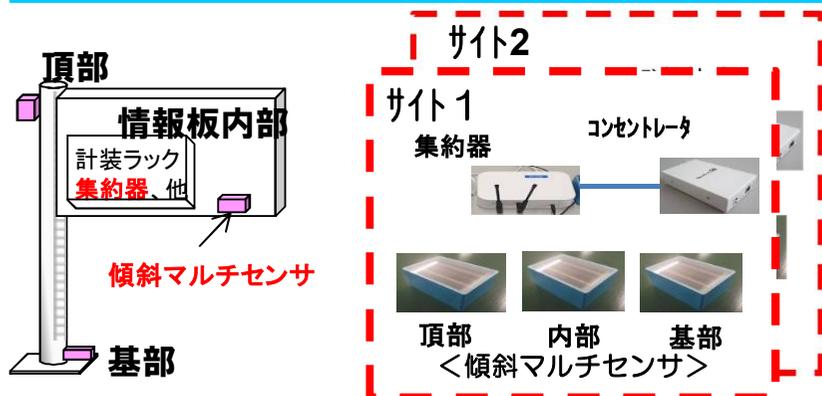
対象構造物

道路付帯物(情報板設備、照明設備等)



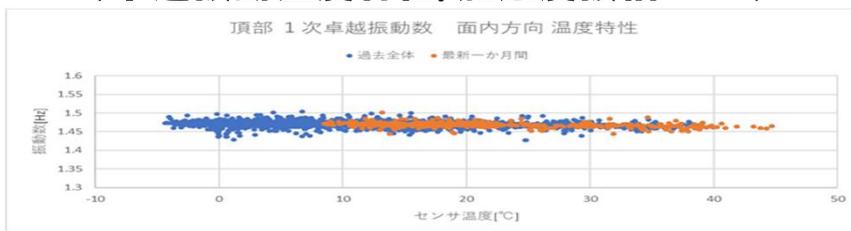
適用イメージ

適用イメージ: 情報板モニタリングシステム



実証実験サイトに構築したセンサネットワークシステム構成

②モニタリング・構造技術者向け表示(オプション)
(卓越振動温度特性/加速度振幅 etc.)



効果

情報板の「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ことで状態変化を検出(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復旧作業優先度の判断支援

＊経年変化の監視: 点検の優先度/間隔、劣化進行の判断支援

<トップ画面> 状態一覧表示

設備	状態	突発計測	最新取得データ		
			頂部センサ	内部センサ	基部センサ
吾妻山TN 情報板	正常	2018/05/23 08:14:20	2018/05/23 09:00:00	2018/05/23 09:00:00	2018/05/23 09:00:00
調布IC 情報板	注意	-	2018/05/23 09:00:00	2018/05/23 09:00:00	2018/05/23 09:00:00
...					

①設備管理者向けの主要表示(優先)
(卓越振動数/傾斜)



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:3軸)

・開発目標

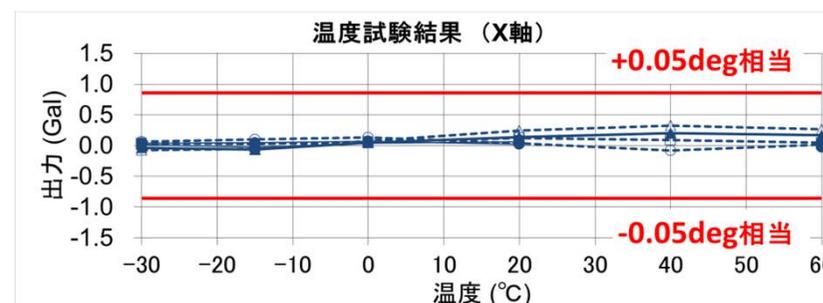
- ①傾斜計測の出力安定性: $\pm 0.05\text{deg}$
- ②振動計測の分解能: $\pm 0.1\text{Gal}$

・成果概要

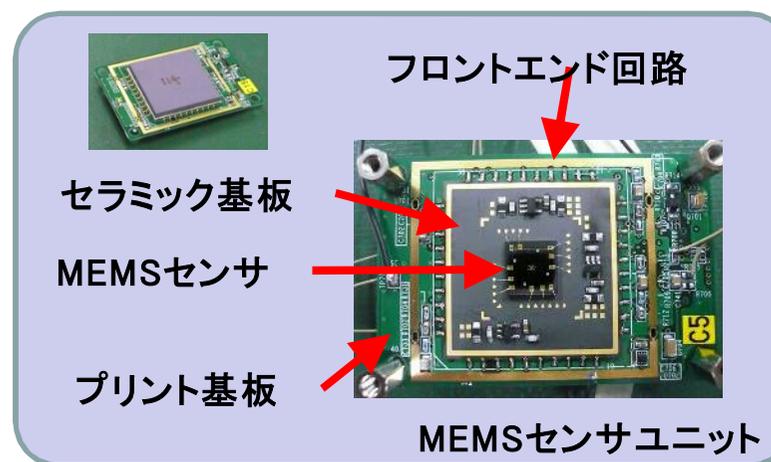
◆MEMSセンサ部のユニット構造化

- ①温度安定性: $\pm 0.05\text{deg}$ を達成
- ②振動分解能: $\pm 0.1\text{Gal}$ を達成

◆MEMSセンサデバイスを搭載した小型MEMSセンサユニットの製作



原理試作品 温度安定性評価結果



これまでの成果

◆傾斜マルチセンサ端末の開発

・開発目標

- ①傾斜・振動・温度を同時測定
- ②太陽電池による自立電源化
- ③複数センサ間の時刻同期(±1msec)
- ④大量データ(900KB/3分間)を平均0.5mWで無線送信

・成果概要

i) センサ端末製作完了

情報板へ設置・実証評価中

ii) 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

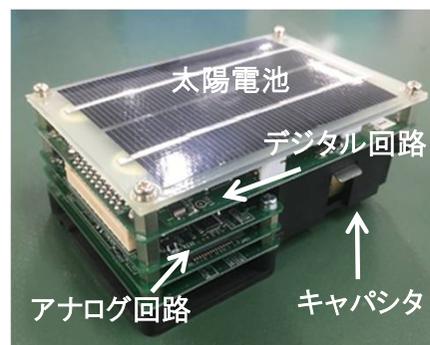
実証評価中

iii) 無線通信確認

実環境による無線通信確認

iv) 太陽電池での動作確認

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、実証評価中

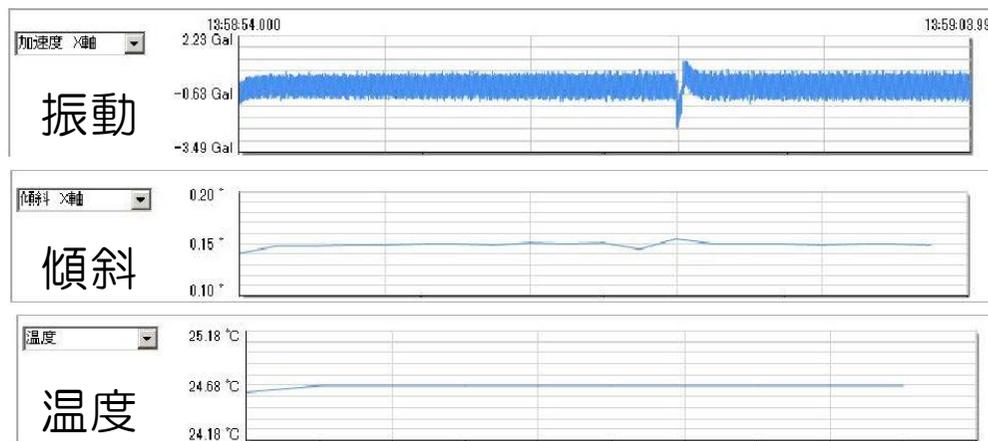


傾斜マルチセンサ端末
インナーユニット

セラミック
ケースに収納



傾斜マルチセンサ端末外観
(寸法: L100mm× W70mm×H50mm)



傾斜マルチセンサ端末出力例

開発技術 (3/6)

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

卓越周波数と支柱温度との相関は、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した。

・卓越周波数と支柱温度との相関

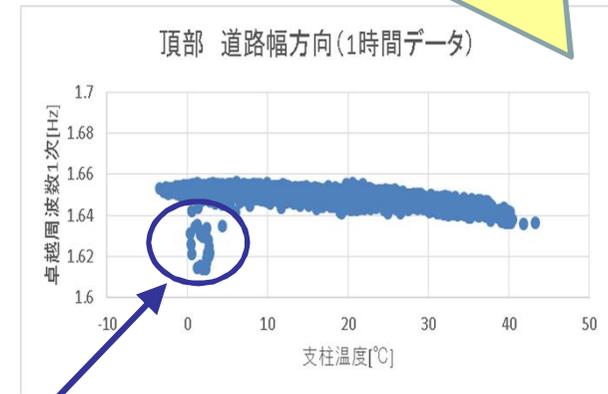
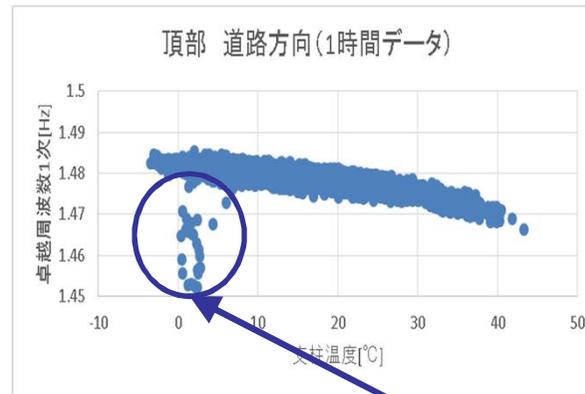


頂部

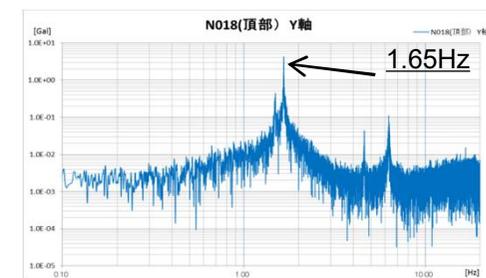
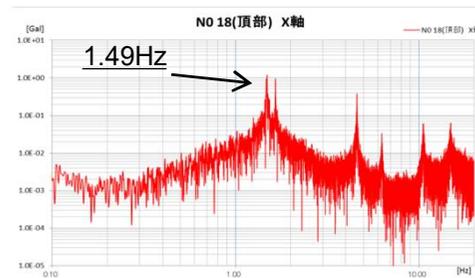
基部

内部

NEXCO中日本管内 A情報板



現地調整作業 (重量増) に伴う変動



開発技術 (4/6)

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):

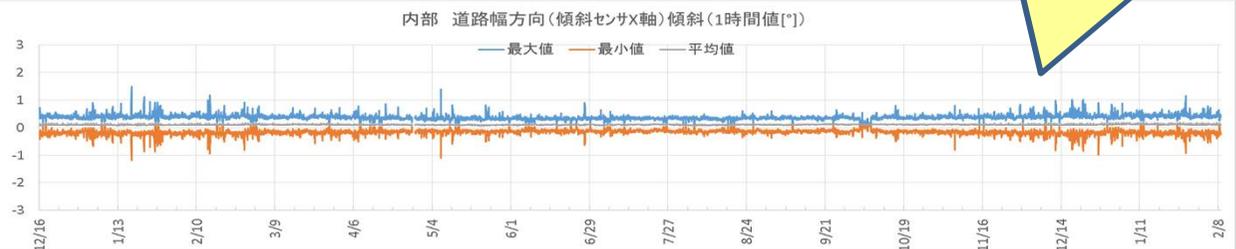
2015/12/16~2017/2/23(435日間)

平均値は年間を通して変動が小さく安定している。特徴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。

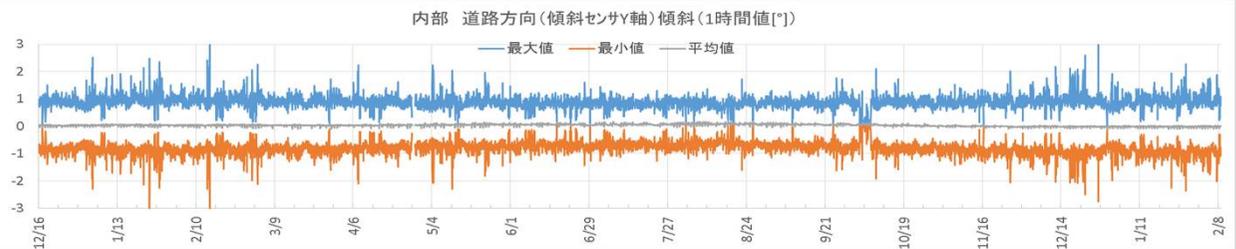


NEXCO中日本管内 A情報板

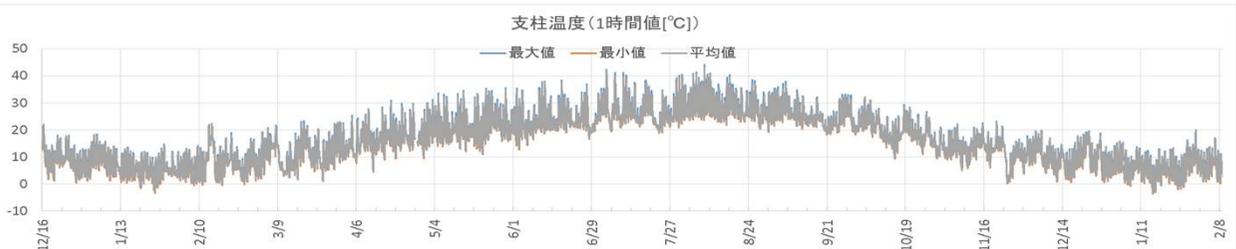
内部道路幅方向



内部道路方向



支柱温度



これまでの成果

◆道路情報板の挙動解析

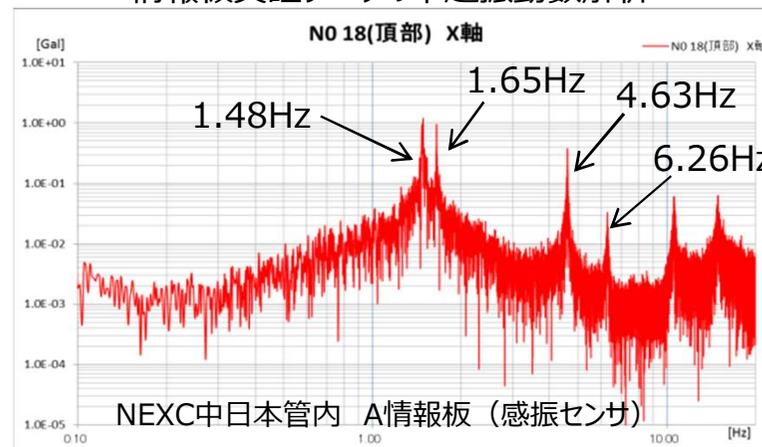
目標：道路情報板変状時のモニタリングパラメータの指標策定
(2017年度は道路情報板の変状時の挙動を把握)

結果：道路情報板の変状時の挙動把握として、シミュレーションにより情報板変状時の挙動解析を実施
情報板の解析モデルを構築し、ボルト緩みとリブ剥離時の挙動及び角度・変位・卓越周波数の変化量を把握

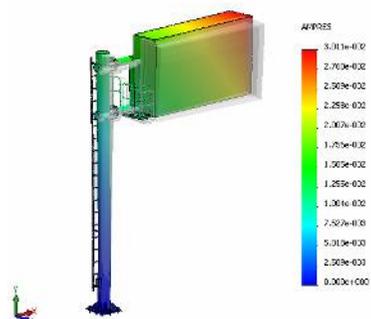
<解析例>ボルトゆるみの影響

- ・固有値の変化は最大3%(1次モード)程度となる。
- ・傾斜変化量は 0.027° と小さい。

情報板実証データの卓越振動数解析

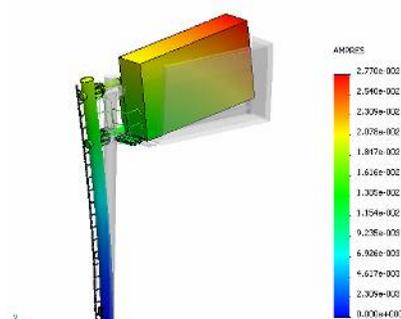


固有振動数: 1.480Hz



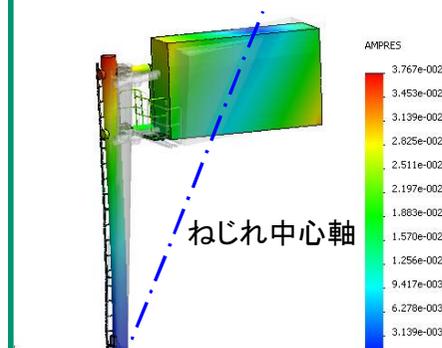
1次モード
(道路方向 面外) 形状

固有振動数: 1.588Hz



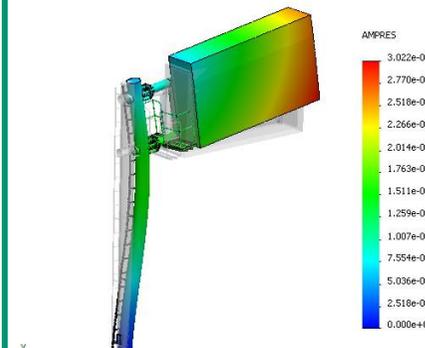
1次モード
(道路幅方向 面内) 形状

固有振動数: 4.529Hz



2次モード
(道路方向 面外) 形状

固有振動数: 6.663Hz

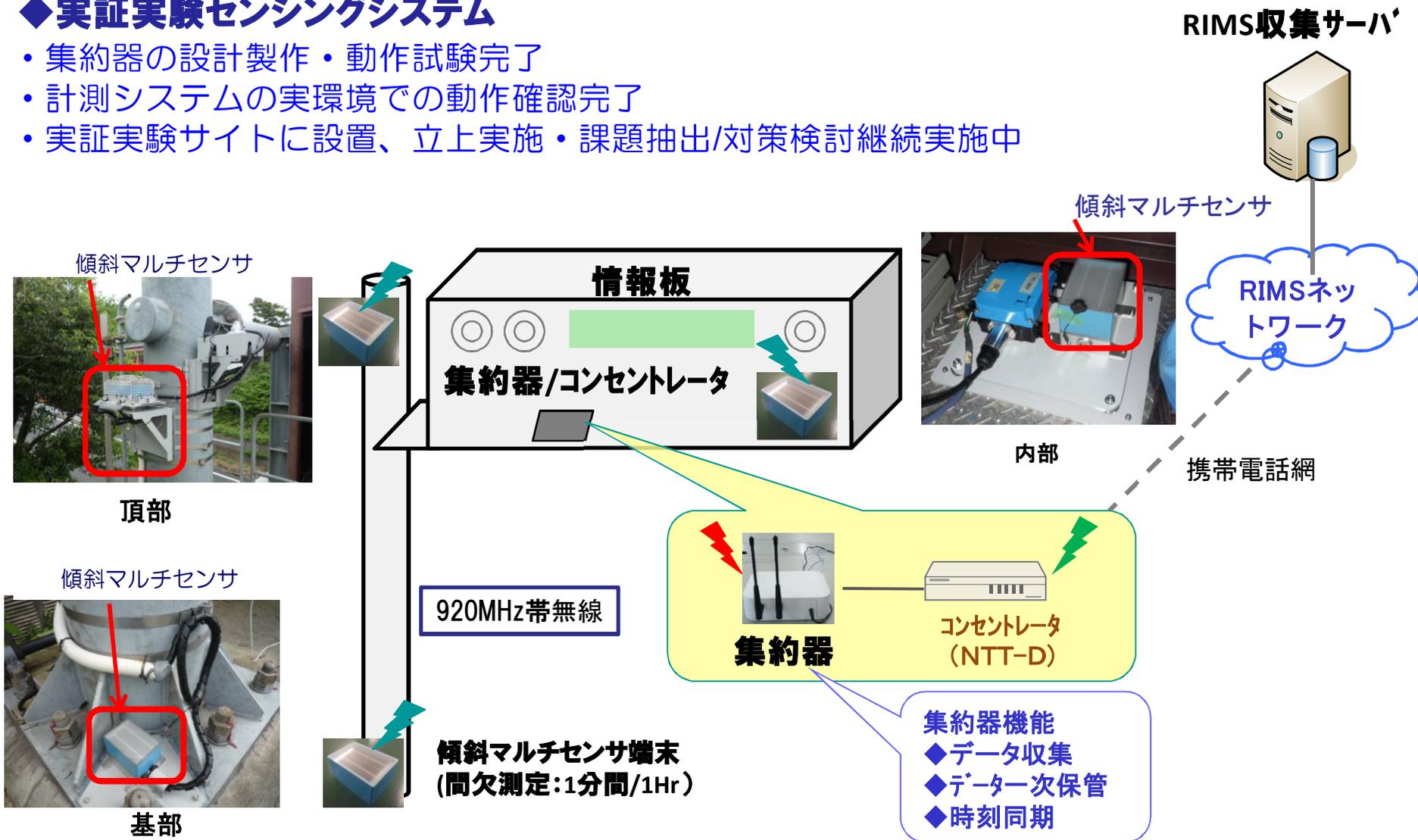


2次モード
(道路幅方向 面内) 形状

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、立上実施・課題抽出/対策検討継続実施中



実証実験のまとめと解析、考察 (1/4)

◆実証実験(情報板2サイト、発電施設1サイト実施中)

- 実証実験場所：NEXCO中日本管内 A情報板, B情報板 発電施設
- データ収集：構築したセンシングシステムにより遠隔から取得
- 課題抽出：実用化に向け課題の抽出と抽出課題の対策継続実施中



実証実験のまとめと解析、考察 (2/4)

◆システム構築と実証実験 (情報板: 傾斜マルチセンサの出力例)

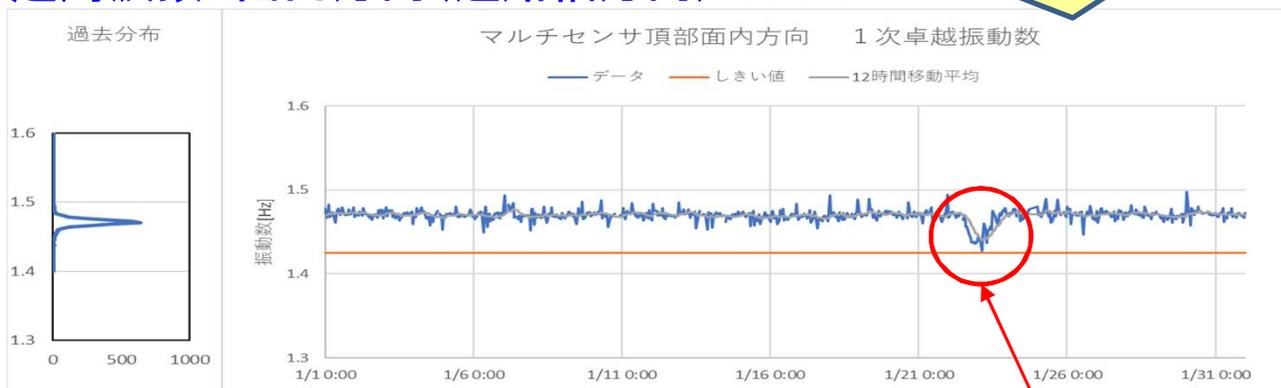
計測データ例: 2018/1/1~1/30:
 卓越周波数、傾斜及び温度

卓越周波数、傾斜平均値は年間を通して変動が小さく安定している。特徴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。

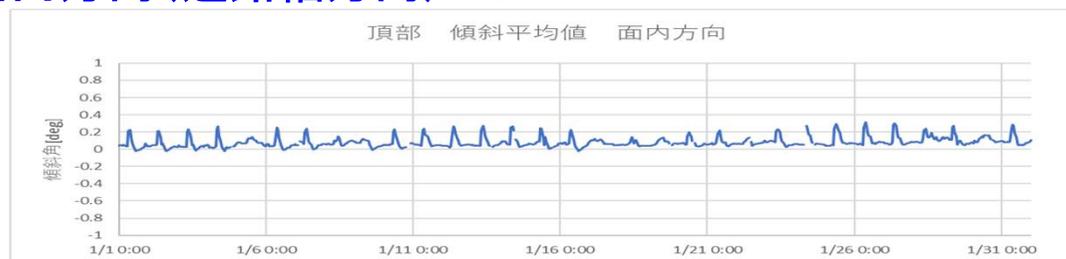


頂部
 基部
 内部
 NEXCO中日本管内
 A情報板

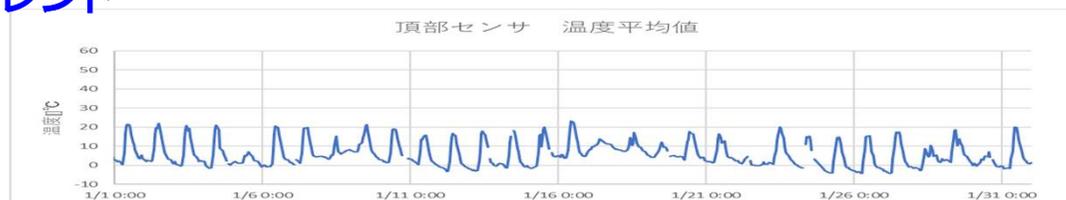
・卓越周波数 面内方向(道路幅方向)のトレンド



・傾斜 面内方向(道路幅方向)のトレンド 積雪(重量増)に伴う変動



・温度のトレンド

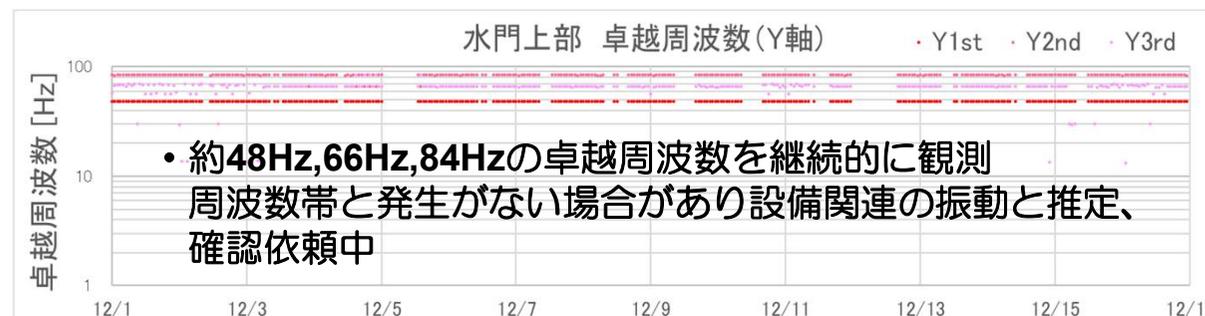
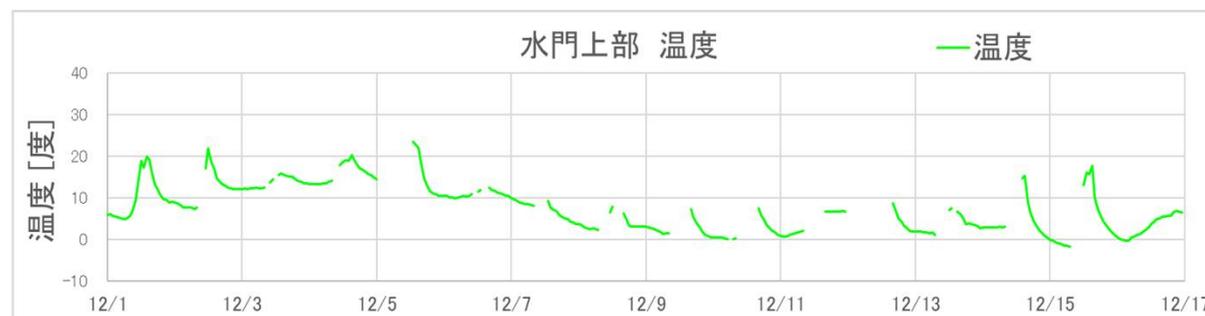
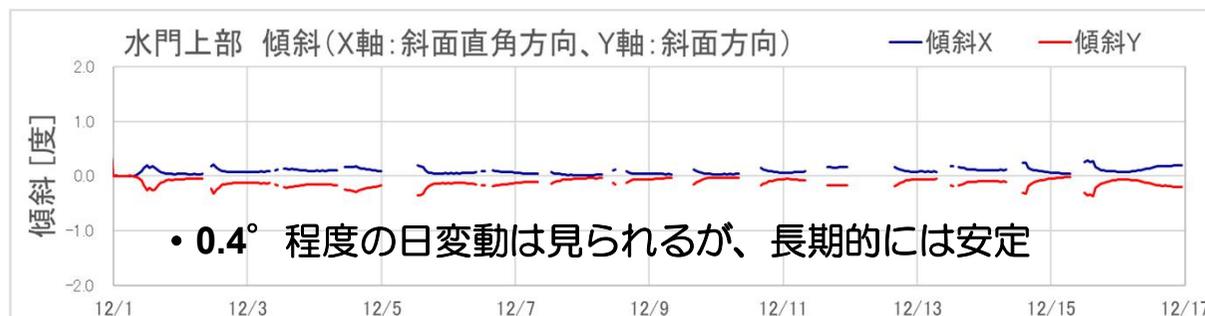


欠測が見られ無線通信
 安定性の向上が必要

実証実験のまとめと解析、考察 (3/4)

◆システム構築と実証実験 (発電施設: 傾斜マルチセンサの出力例)

計測データ例: 2018/12/1~12/16: 傾斜、温度及び卓越周波数



- 欠測が見られ無線通信安定性のさらなる向上が課題
- 要因調査結果、外部電源からのノイズが影響と判明

実証実験のまとめと解析、考察 (4/4)

◆システム構築と実証実験 (まとめと実用化に向けた対応)

・センサ端末/センサシステム

実証サイト	成果/抽出課題	実用化に向けた対応
情報板	①センサシステムの実装/立上げ ②卓越周波数、傾斜の平均値を特徴量として状態変化を検出可能 課題:判断閾値、運用 ③無線通信 課題:通信安定性の向上	①実用化仕様まとめ ②データ蓄積と、閾値、運用を検討 (ユーザと共同で検討が必要) ③使用帯域とアンテナ特性の最適化、動作状態とノイズの把握・対応
発電施設	①傾斜地の傾斜変化監視に応用 ②外部電源Box開発 ・雨天継続(1週間以上)へ対応 ・設置場所制約緩和 (日光の届き難い場所対応) ③無線通信 課題:通信安定性向上	①、②発電施設向け仕様まとめ ③情報板③と同様

◆**社会課題**：
道路インフラ構造物の老朽化の進展、少子高齢化の進展

◆**対象**：**道路付帯構造物(情報板)**

◆**アプローチ**：

- ・センサシステムによる常時モニタリング
- ・状態変化を検出し点検業務の高度化・効率化

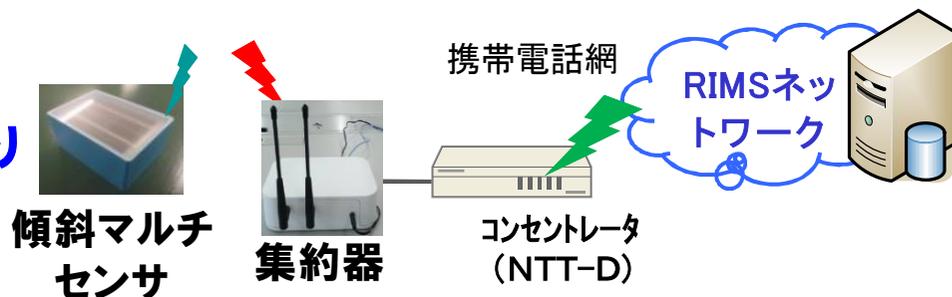
◆**開発内容**：

- ・傾斜マルチセンサ端末とセンサシステムの開発
- ・実証実験による検証

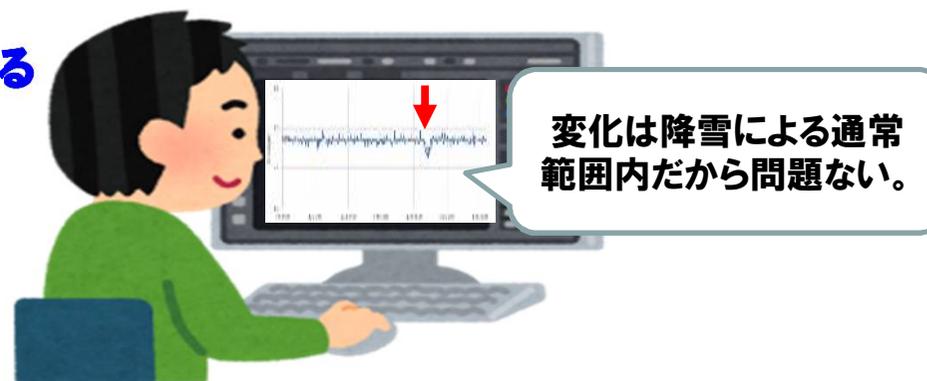
◆**結果**：

**卓越周波数や傾斜の平均値は安定しており
 特徴量として使用可能なことが判明**

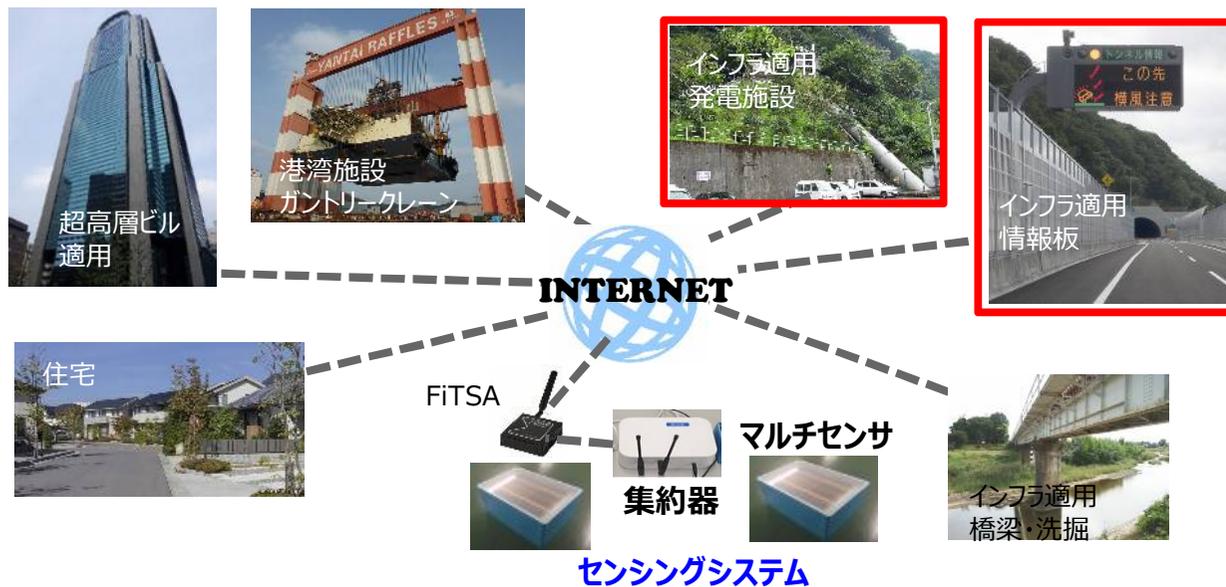
◆**どのようなことができるようになったか**
**特徴量(卓越周波数、傾斜)の遠隔監視による
 構造物の状態変化の監視**



開発したシステム



◆実用化計画と普及に向けた計画



- ◆PJ終了後に
製品化開発
- ◆事業化第一ターゲット
 - ・道路情報板
 - ・発電施設
 - *顧客へのアプローチ
- ◆他へ事業展開
 - ・橋梁
 - ・港湾施設
 - ・ビル・住宅等

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)の委託業務の結果得られた成果です。