



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)

『法面変位センシングシステムの開発』

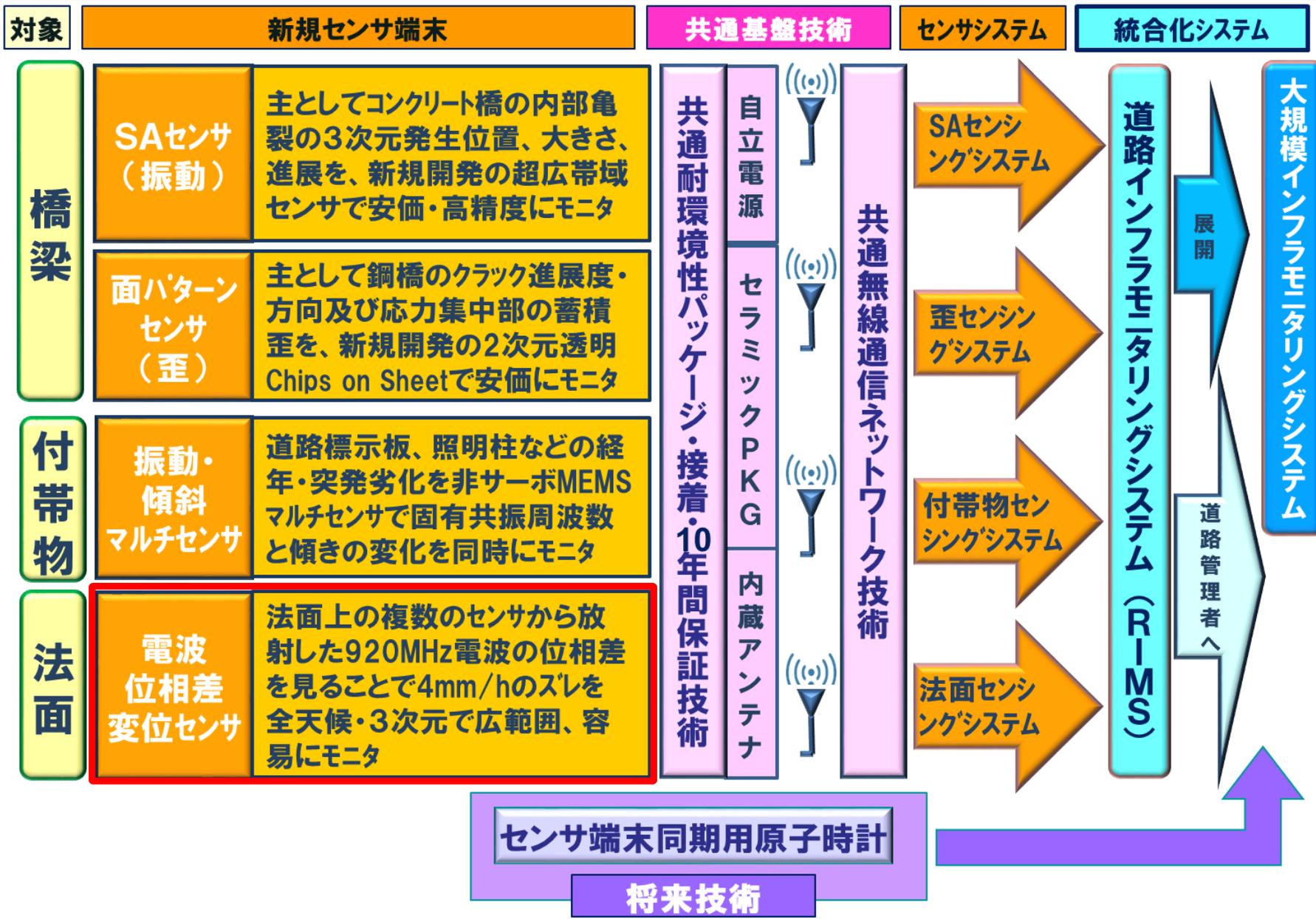
平成31年2月1日(金)@機械振興会館B2ホール

(委託先:技術研究組合 NMEMS技術研究機構)
(実施者:三菱電機)

発表者:三菱電機株式会社 情報技術総合研究所
専任 大島正資



開発内容



対象とする社会課題と現状

社会課題

- 高速道路総点検の結果、10年間で、要注意法面箇所が約2倍(約1300⇒2600箇所)に増加(平成8⇒18年)[1]
- NEXCO3社の今後15年の高速道路老朽化対策費用は、法面だけで約4800億円[2]

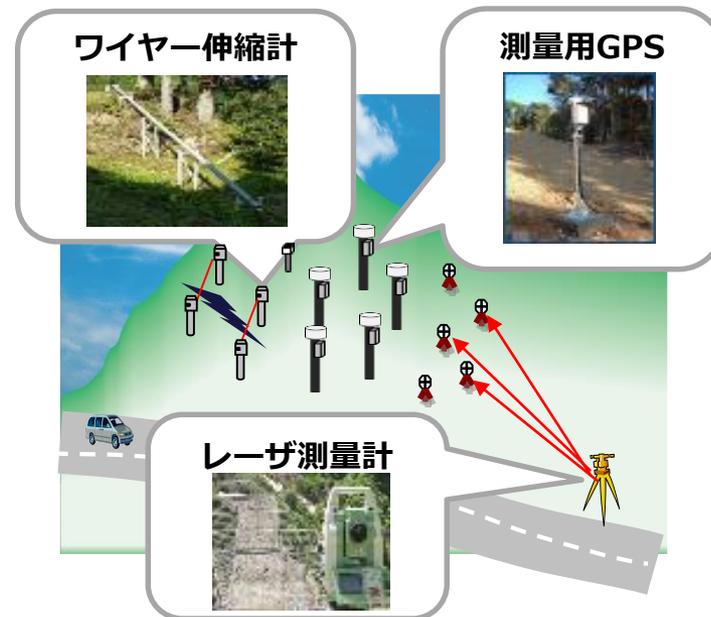
要注意法面箇所が10年間で約2倍
(約1300⇒2600箇所)に増加



現状

要注意法面の中で、危険度が特に高い法面については、複数の機器を併用して継続監視を行っているが、以下の課題がある。

- 悪天候時の高精度監視が不可
- センサのバッテリー動作が短期間(数ヶ月)

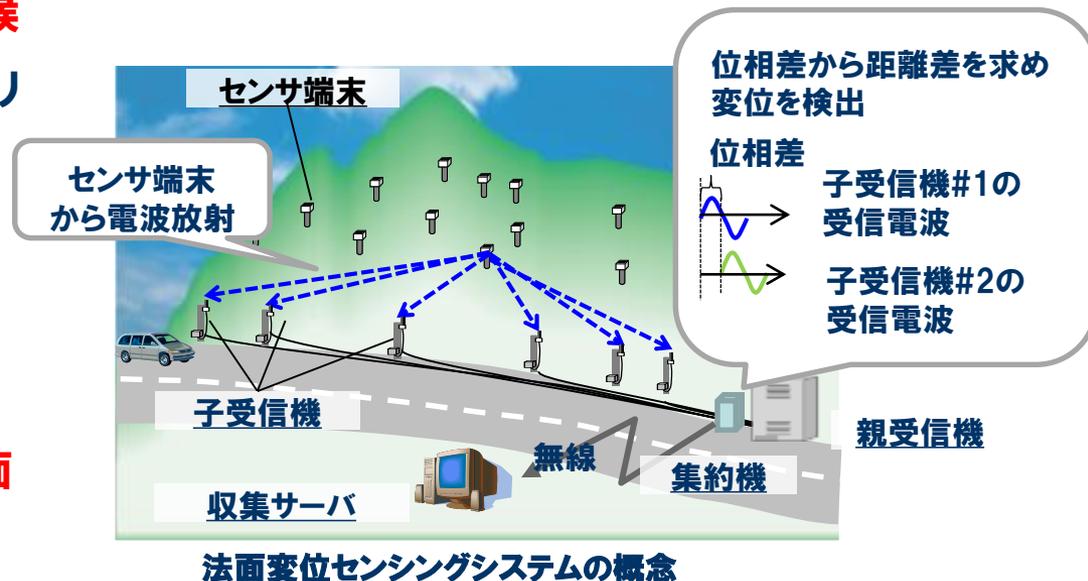


[1]高速道路資産の長期保全及び更新のあり方に関する技術検討委員会 報告書
平成26年1月22日 より抜粋

[2]東・中・西日本高速道路会社が管理する高速道路における大規模更新・大規模修繕計画(概略)について、NEXCO3社プレスリリース、H26.1.22

開発テーマ概要と差異化ポイント

- 電波位相差により高計測頻度・**全天候**で法面の**3次元絶対変位**を高精度(ミリメートル級)で計測
- 多点同時計測により、すべり面の想定・比較が可能
- GPSと比較して、高い即時性
- 傾斜計と異なり、**変位で規定された法面点検の目安***との直接の比較が可能



※高速道路会社における維持管理段階での法面点検等の目安値

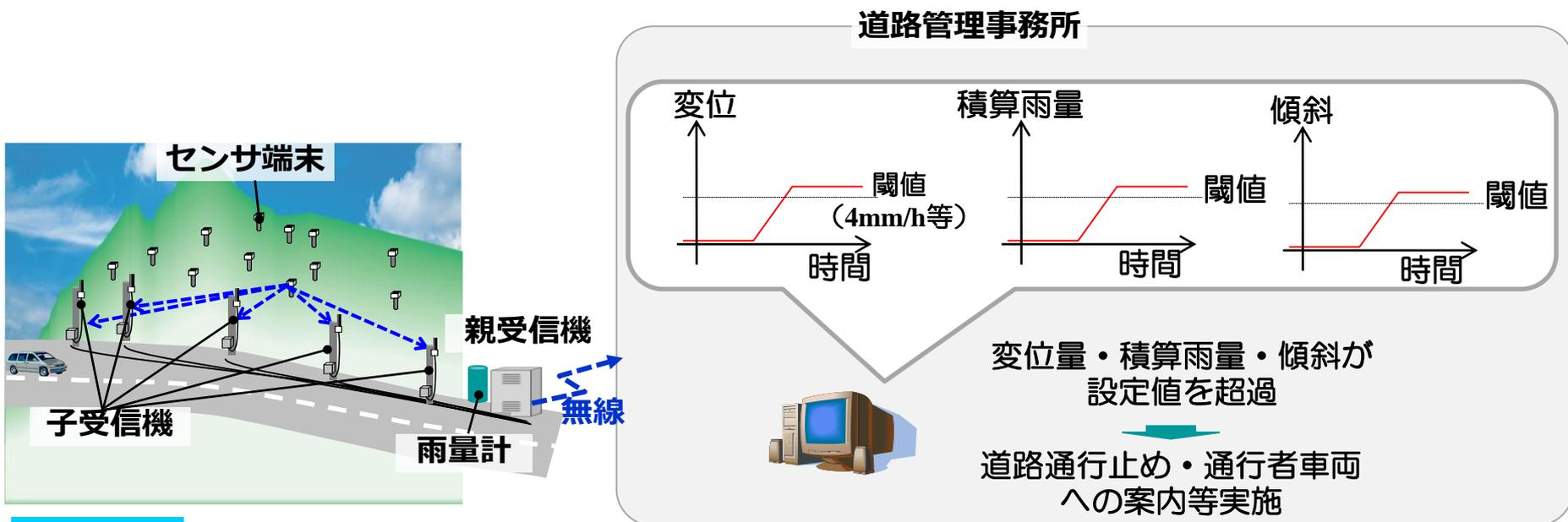
点検・要注意または観測強化: 10mm以上/30日、対策の検討: 5~50mm/5日

警戒・応急対策通行止めの検討: 10~100mm/1日、嚴重警戒・通行止め: 4mm以上/h

適用イメージ

適用イメージ

- Step1: 道路管理会社の定期検査、MMS(モバイルマッピングシステム)等により法面に異常検知
- Step2: センサ端末を法面に、子・親受信機を道路脇に設置し、常時、法面変位・温度・傾斜・雨量データを計測するとともに、データを管理事務所へ送信
- Step3: 変位・積算雨量・傾斜データの計測結果を基に、総合的に判断(設定した閾値を超える等)、道路会社が判断し、道路通行止め・通行車両への案内等を実施



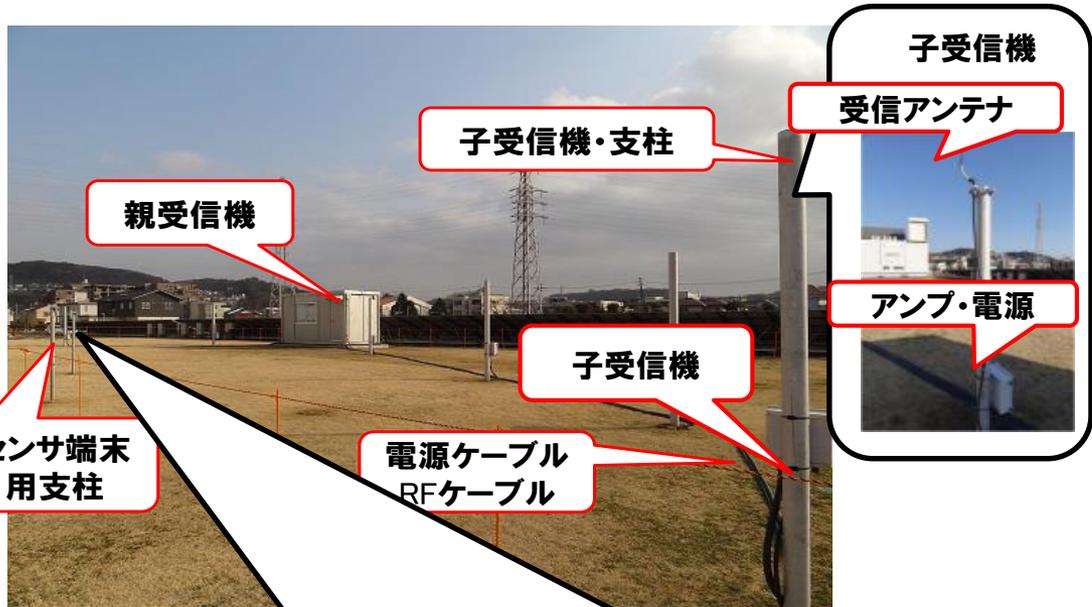
効果

- 変位、傾斜、雨量等の計測データと、あらかじめ設定された管理基準値とを照合することで、維持管理区分(対策の検討の必要性、通行止め判断等)を判定することができる。
- 法面の崩落の予兆を事前に検知することで、事故の発生を未然に防ぐことができる。

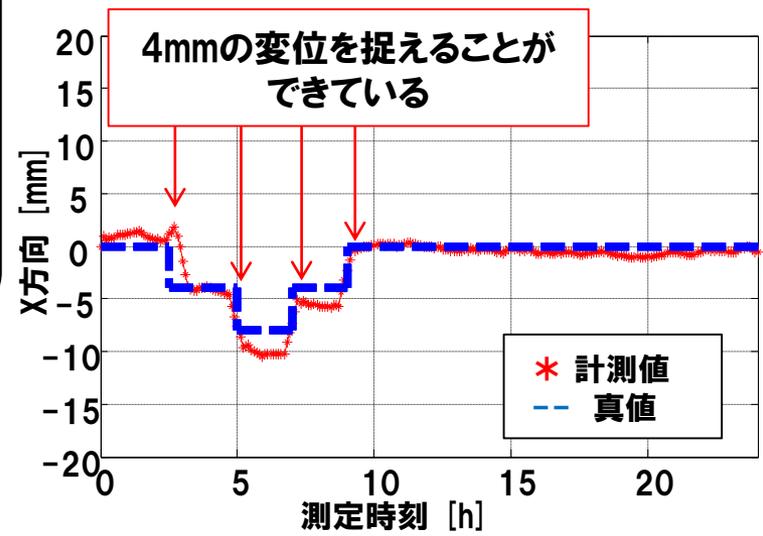
開発技術 (1/5)

研究開発成果1 基礎実験による変位計測の原理検証 (H26年度成果)

- 試作したセンサ端末を用いた実験により4mmのステップ変位を計測することに成功



- 子受信機8基, センサ端末6台を設置
- 920MHz帯の特小無線の電波を使用



Y方向

Z方向

X方向

センサ端末

3軸ステージを用いて、
センサ端末を強制的
に±4mm変位

太陽電池モジュール

7cm

10cm

5cm

蓄電デバイス

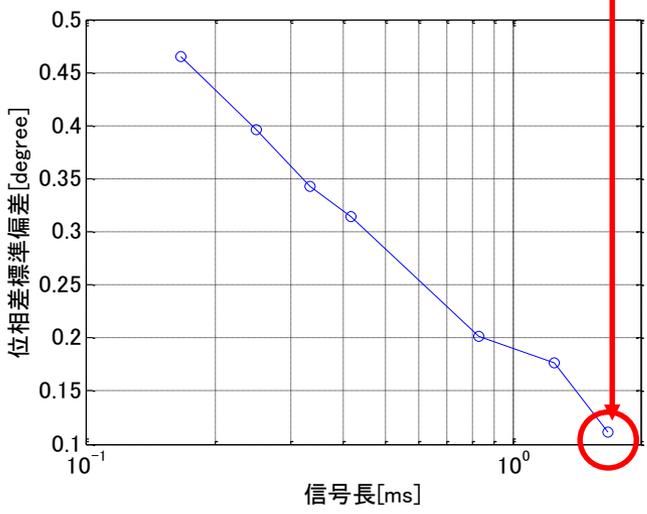
基板(無線モジュール, 電源制御等)

開発技術 (2/5)

研究開発成果2

子・親受信機の試作 (H27年度成果)

- 子・親受信機を試作
- 子受信機-親受信機間は、100mの伝送損失やケーブルの取り回しを考慮して、光ファイバで接続
- 位相精度が0.1deg($\approx 0.1\text{mm}$)と機器単体では高精度に計測可能なことを確認

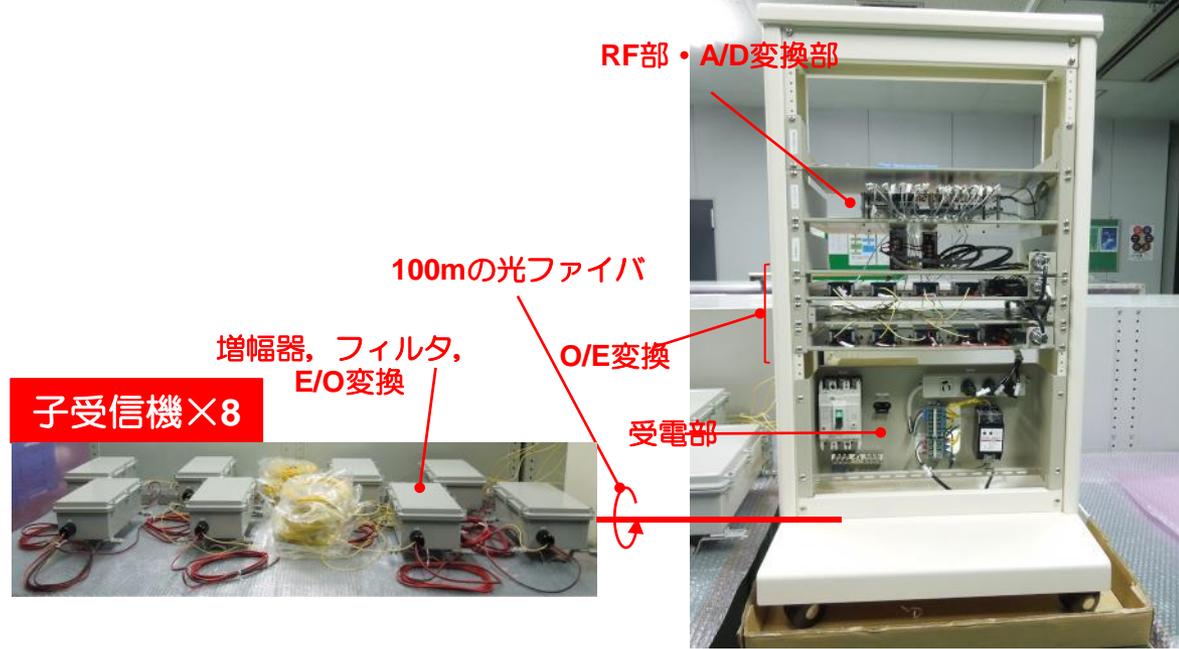


信号長と位相精度の関係
(センサ端末-子受信機間距離約2mの実測結果)



センサ端末用支柱

親受信機



子受信機×8

開発技術 (3/5)

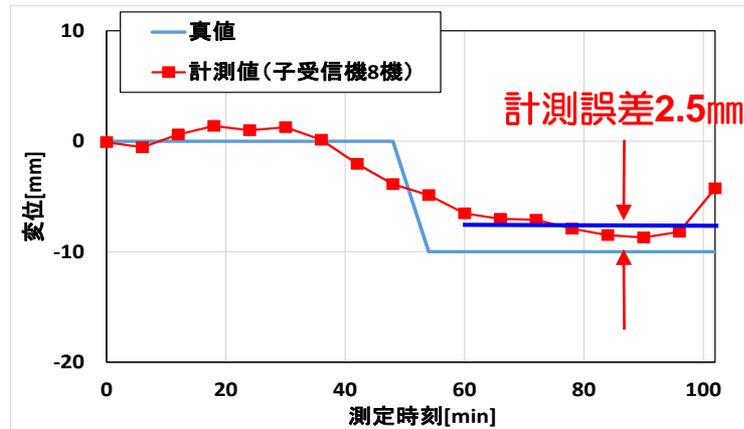
研究開発成果3

草木対策の検討 (H28年度成果)

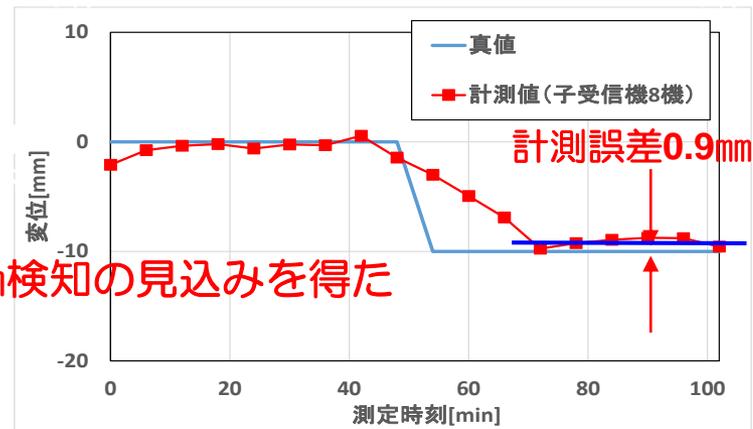
- 実証実験現地での簡易実験により、草木が変位計測精度に与える影響を明らかにし、防草シートによる対策を実施



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



センサ端末周囲半径1mに草木設置

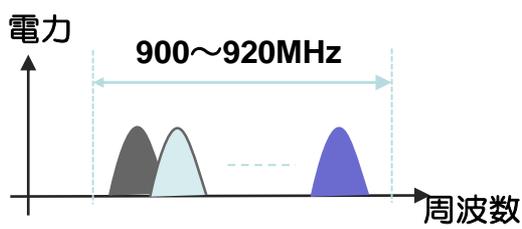
開発技術 (4/5)

研究開発成果4

草木対策の検討2 (H29年度成果)

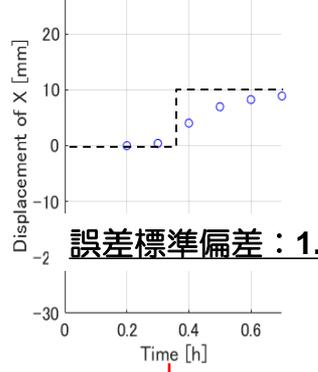
- 草木対策として、複数の周波数Chの位相を合成する**周波数Ch合成方式**を開発

- 複数の周波数Chのデータを合成することで精度改善する方法を検討
- 構内芝生実験で検証

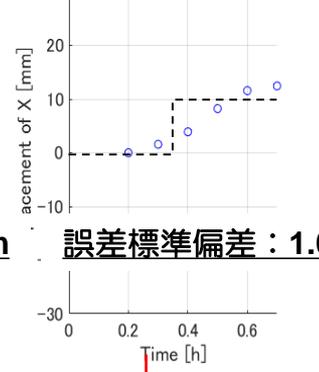


複数の周波数Chのデータを合成することにより、誤差低減

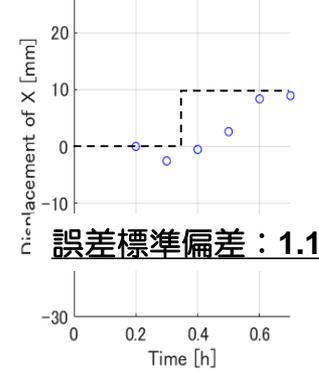
922.5MHz(33ch)



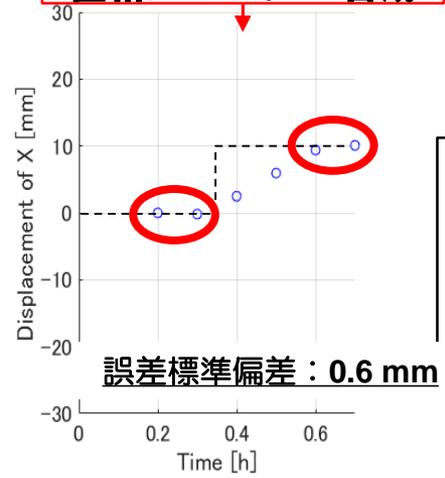
925.1MHz(46ch)



927.5MHz(58ch)



位相レベルで3ch合成



- 6分に1回データ取得
- 3サンプルで時間平均

10mmの変位を標準偏差約1mmで検出可能なことが分かり、周波数Ch合成の効果を確認

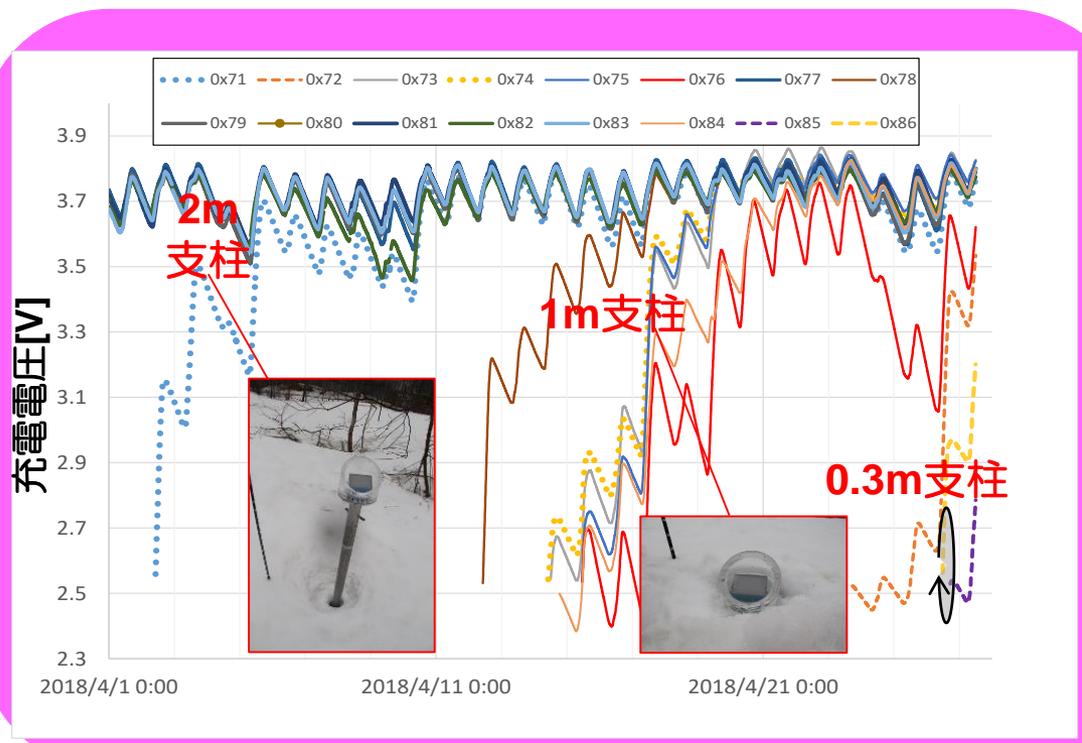


開発技術 (5/5)

研究開発成果5

子受信機・センサ端末の耐久試験 (H30年度成果)

- H29、H30における積雪・融雪期に子受信機・センサ端末の耐久試験を実施。地上高の高い端末から太陽光による充電を開始し、自動復帰することを確認



子受信機



センサ端末の動作状況



H29.4.11 実証現場法面の積雪状況

実証実験のまとめと解析、考察 (1/2)

多機能型センサ端末の開発

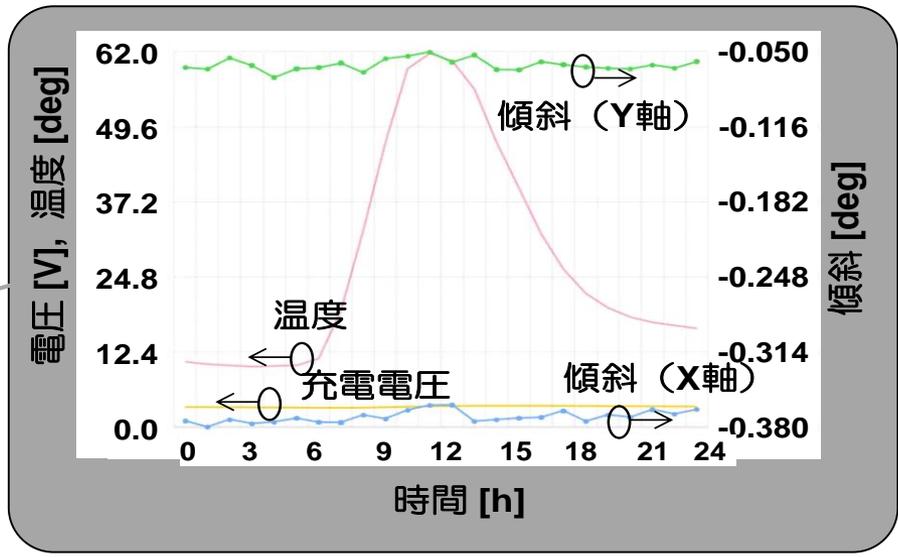
- 無線モジュール、基板、キャパシタ等を搭載した以下のセンサ端末を開発し、最終目標を達成した。



- 変位, 温度, 充電電圧, 傾斜データを計測可能 ⇒ **達成**
- センサ端末サイズ L10cm×W7cm×H5cm ⇒ **達成**
- 1時間に10回の計測可能 ⇒ **達成**
- 通信距離30m以上 ⇒ **達成**
- 実環境下での信頼性 ⇒ 積雪対策+LTCCパッケージにより **達成**



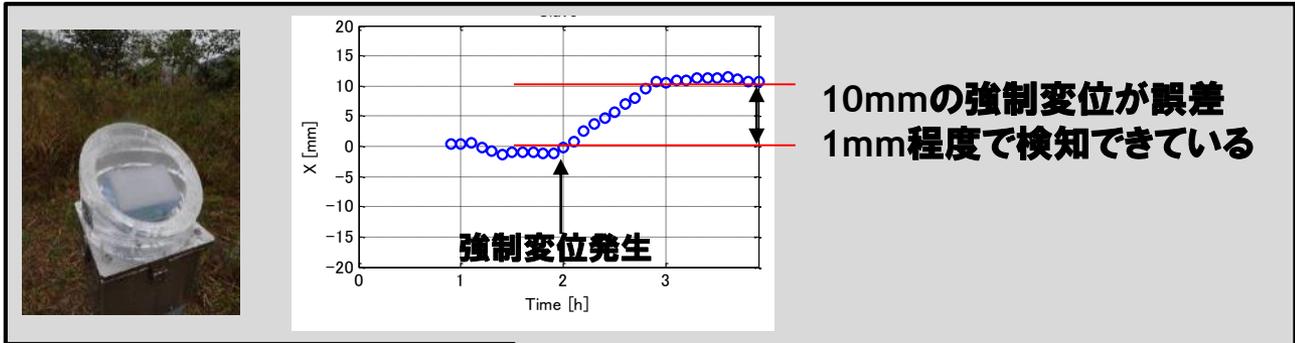
NEXCO東日本管内法面



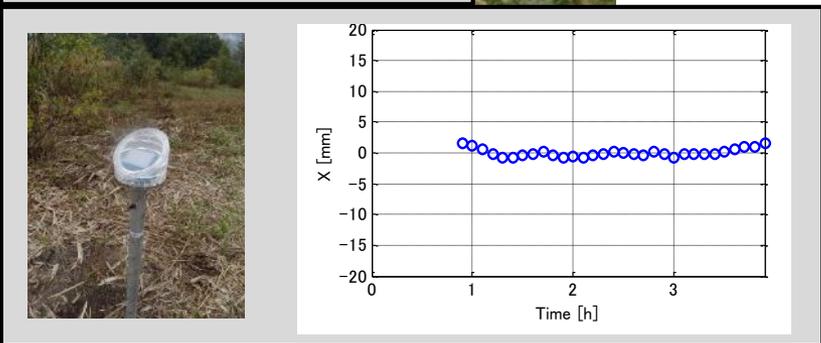
実証実験のまとめと解析、考察 (2/2)

➤ センサーネットワークシステムの構築と実証実験

- 1時間に4mm以上の変位検出が可能か検証し、目標達成した。



1時間に4mm以上の
変位検出 ⇒ 達成



- 社会課題： 要注意の法面箇所が10年間で約2倍に増加
- 対象： 切土・盛土・自然斜面

現状

要注意法面の中で、危険度が特に高い法面については、**複数の機器を併用**して継続監視を行っている。以下の課題がある。

- ・ 悪天候時の高精度監視が不可
- ・ センサのバッテリー動作が短期間

解決策

920MHz帯電波の位相差を用いることで、悪天候時にも法面変位を継続監視する。以下の開発を行った。

- ・ 太陽光発電+キャパシタを搭載した小型センサ端末による長期連続計測
- ・ 複数周波数Ch利用により草木の影響を低減した変位計測

現状		解決策	
<p>ワイヤー伸縮計</p> <p>測量用GPS</p> <p>レーザ測量計</p>		<p>センサ端末(電波発信機)</p> <p>子受信機</p> <p>親受信機</p> <p>7cm 10cm 5cm</p> <ul style="list-style-type: none"> ・ 太陽光モジュール、キャパシタ搭載による長期連続動作 ・ 温度/傾斜センサを内蔵 <p>920MHz帯の複数周波数Ch利用による高精度変位計測</p>	
変位計測	△ (悪天候時不可)	1時間あたり4mmの変位検出	
バッテリー動作	数ヶ月	10年 (実証実験で1年以上)	

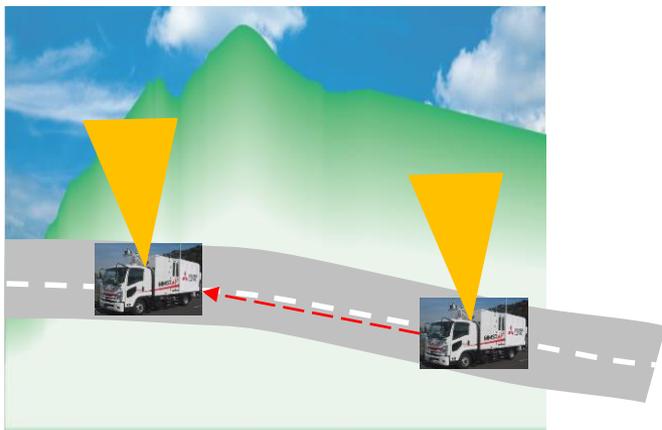
今後の事業化、実用化について

実用化に向けた構想(2019年度システム設計、2020年度以降に試作・製品化予定)

Step:1

MMSD (Mitsubishi Mobile Monitoring System for Diagnosis) [3] 計測を用いたスクリーニングにより、法面の異常を検知

- 高密度レーザによりミリ単位の精度で法面の位置座標計測
- 高解像度カメラによりサブミリ単位のひび割れ検知可能



変状小

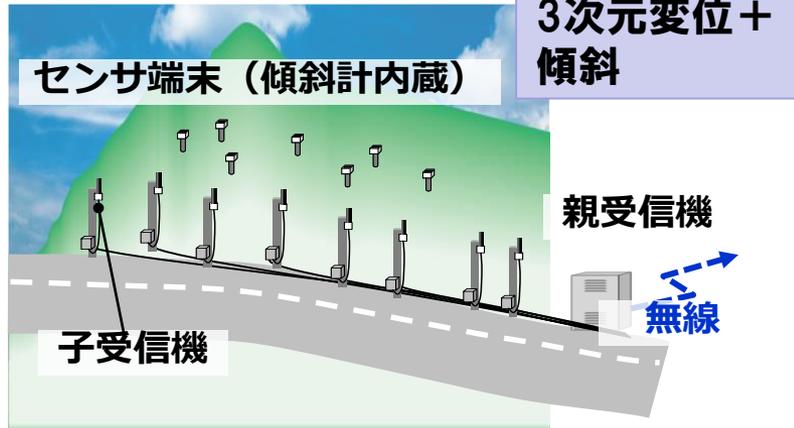
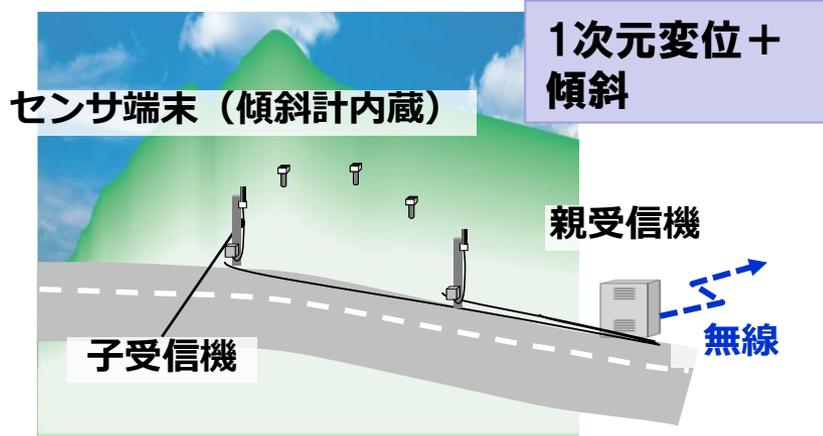


変状大



Step:2

変状が見つかった法面に対して、変状の大小に応じて設置するシステム規模をスケラブルに変化させ常時計測

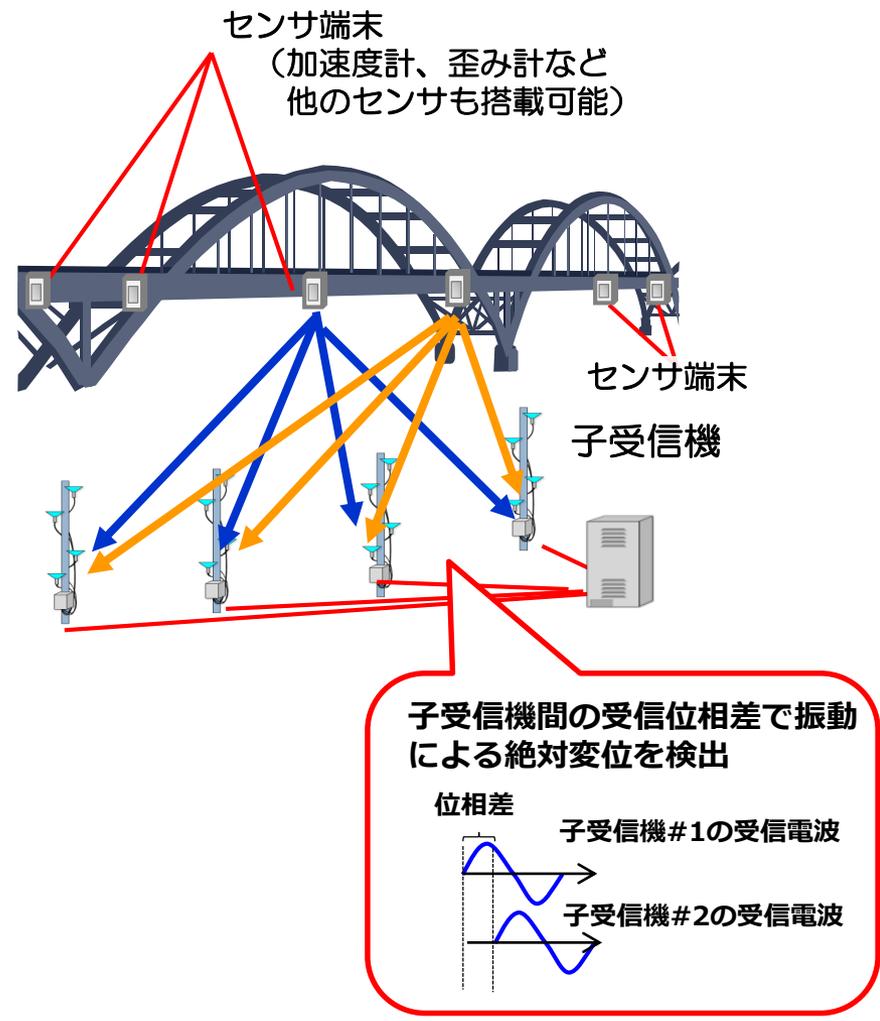
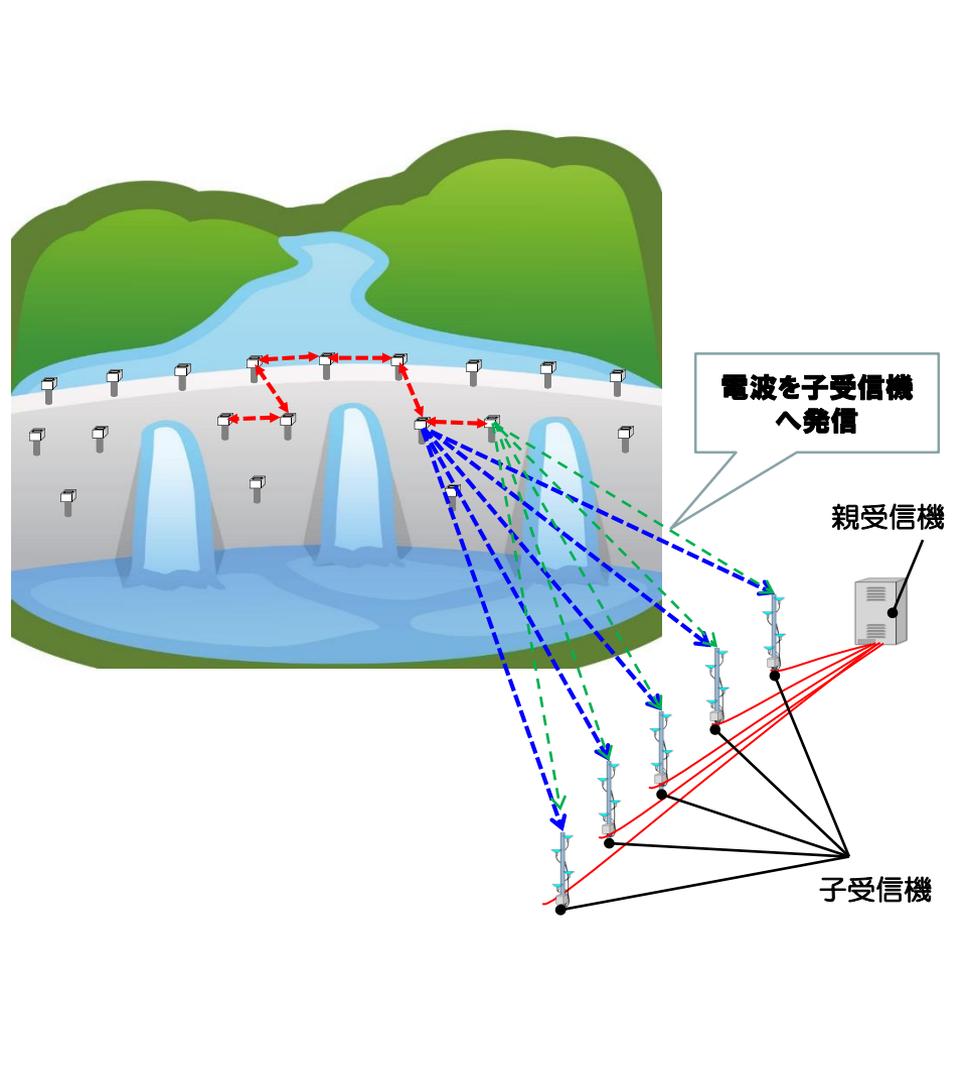


車両走行しながら、法面の三次元点群データ・カメラ画像を取得し、データ解析により、変状を検知

[3] <http://www.mlit.go.jp/common/001218604.pdf>

今後の成果普及について

ダムの変位計測、橋梁の変位計測等への提案活動を通じて成果普及に努める。



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。