

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

Outline of Road Infrastructure Monitoring System (RIMS)

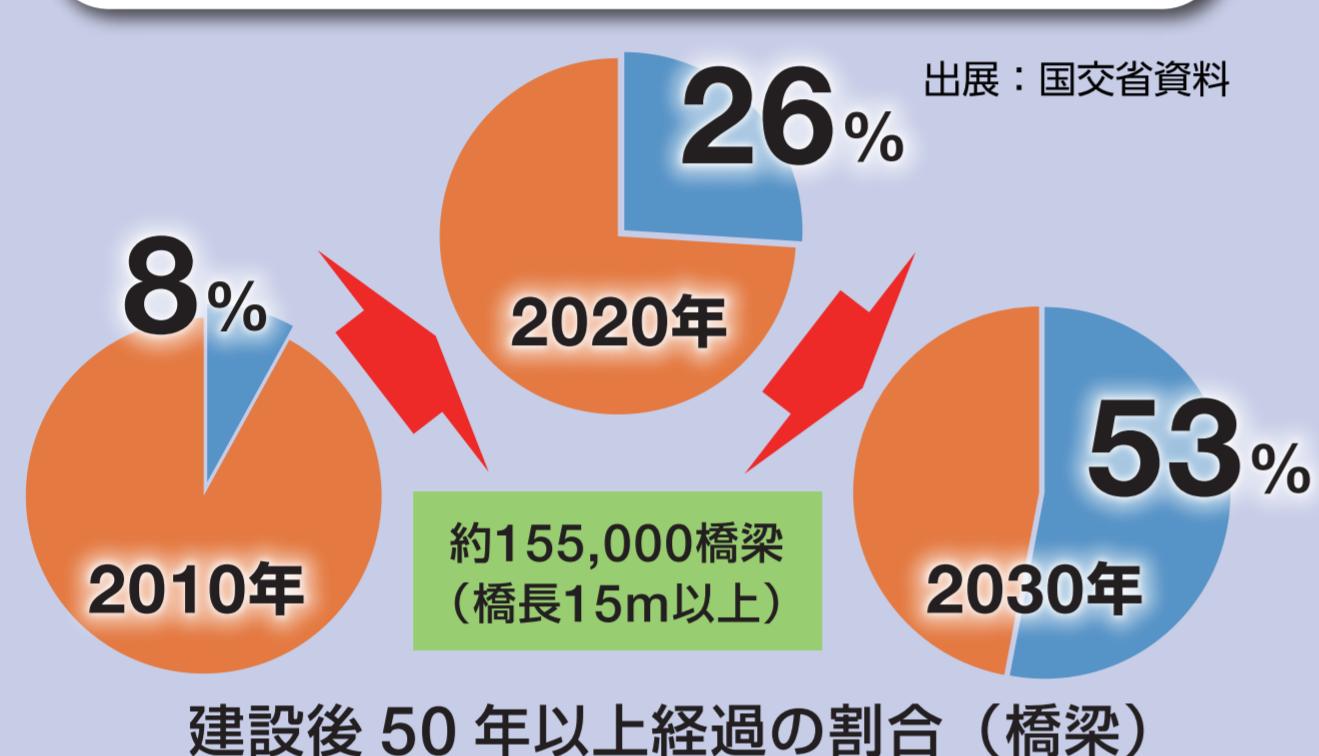
本研究の差異化ポイント

- ◆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
- ◆道路インフラ（橋梁、道路付帯構造物、法面）を一元管理
- ◆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

背景とねらい

道路インフラの劣化

老朽化の進展



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



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

大規模インフラへの展開

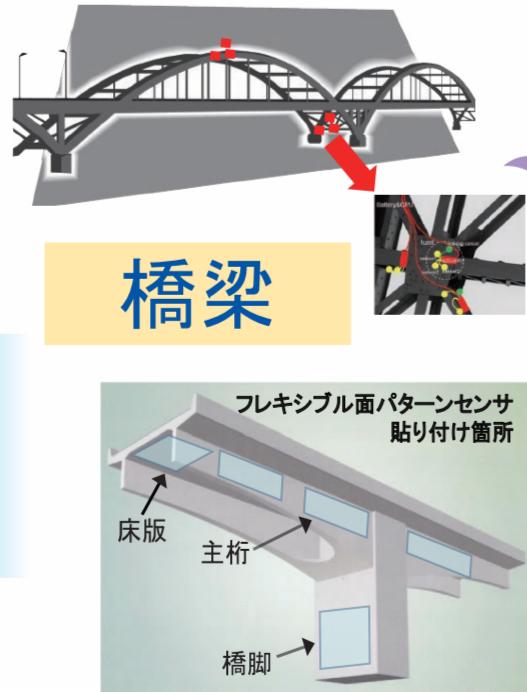
概要図

道路インフラ

大規模インフラ



展開



橋梁

共通基盤技術の開発

各種センサシステムの開発



道路付帯構造物

法面

道路インフラモニタリングシステム(RIMS)とその展開

RIMS(Road Infrastructure Monitoring System) の研究開発概要

Research Theme and Outline of RIMS

テーマと役割分担

(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
(歪)
(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)

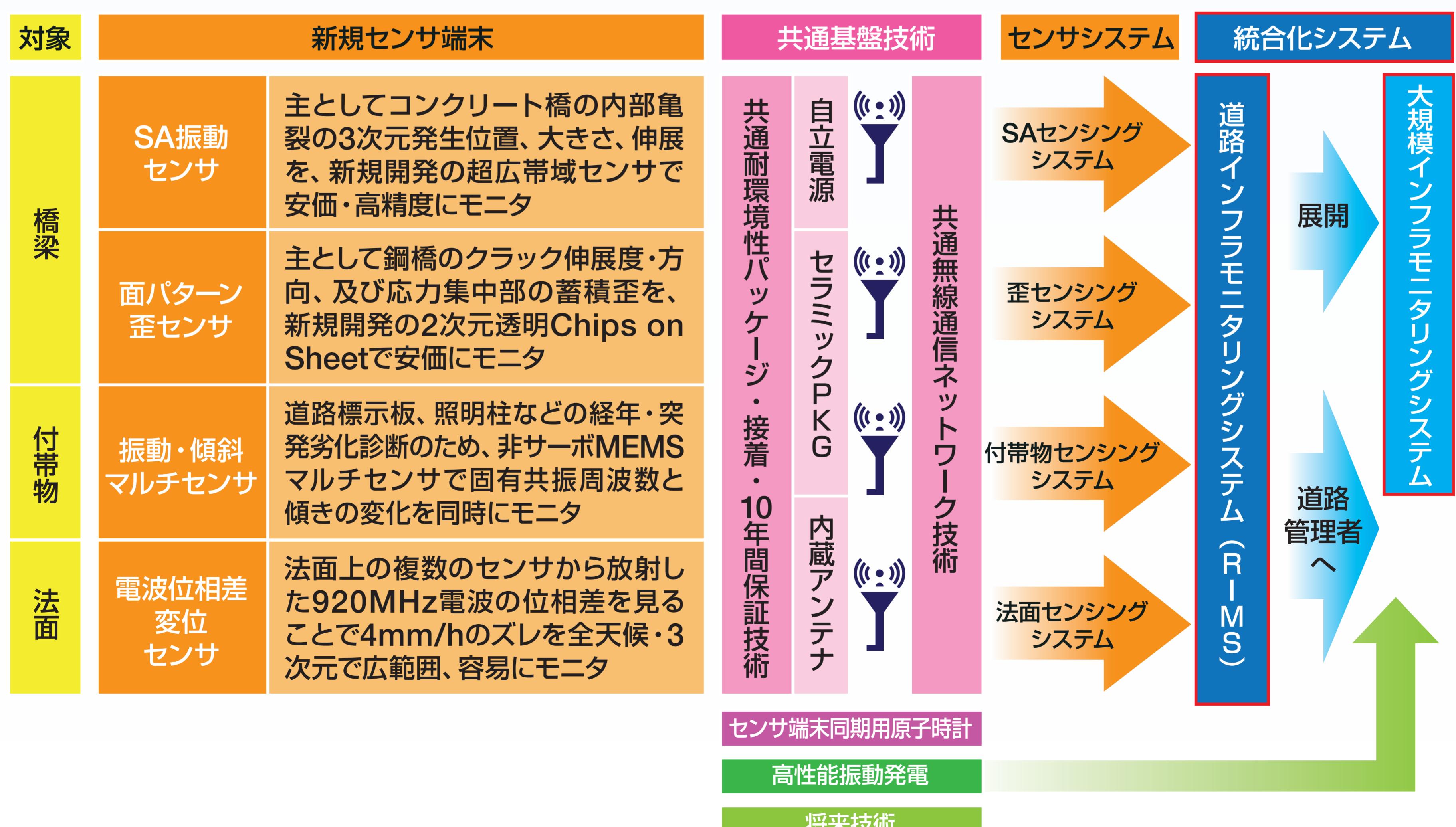
(2-2) 高耐久性パッケージング共通PF (MMC、日本ガイシ、大日本印刷、産総研)

(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 (鷺宮製作所、静大、京大、東大、MMC)

研究開発の概要



RIMSの開発スケジュールと体制

Research Schedule and Framework of RIMS

スケジュール

●プロジェクト期間:2014年7月3日～2019年3月20日

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)					大規模インフラへの適用可能性検討
(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(歪)				本格実証実験開始	実証評価及び実用化研究
(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					大規模インフラへの適用可能性検討
(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				実証評価及びデータベース構築	実証評価及びデータベース構築
(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		実証実験準備		省エネ効果検証	本格実証・データ蓄積
(4)センサ端末同期用原子時計の研究開発 (先導研究)				将来技術フィージビリティ検証	
(5)大規模インフラ向け高性能振動発電の開発 (加速研究)				実証	

研究推進体制

NEDO

プロジェクトリーダー:油田 信一

サブプロジェクトリーダー:下山 穎

(技)NMEMS技術研究機構

分散研究所

1. NTTデータ
 2. 大日本印刷
 3. 東芝
 4. 日本ガイシ
 5. 富士電機
 6. 三菱電機
 7. 東日本高速道路
 8. 中日本高速道路
 9. 西日本高速道路
 10. 阪神高速道路
 11. 産業技術総合研究所
 12. マイクロマシンセンター
 13. リコー
 14. 鷺宮製作所
 15. 静岡大学

社会インフラ研究センター

- 社会インフラ推進連絡会(四半期毎開催)
 - 社会インフラ研究会(毎月開催)
 - 無線通信共通プラットフォームWG
(適宜開催)
 - 原子時計研究会(毎月開催)
 - 振動発電研究会(毎月開催)

本部

技術開発推進室

委員会

- # 知的財産権委員会

再委託先:東京大学

再委託先:京都大学

再委託先:東京工業大学

再委託先:首都大学東京

超広帯域振動センサによる橋梁センシング（1）

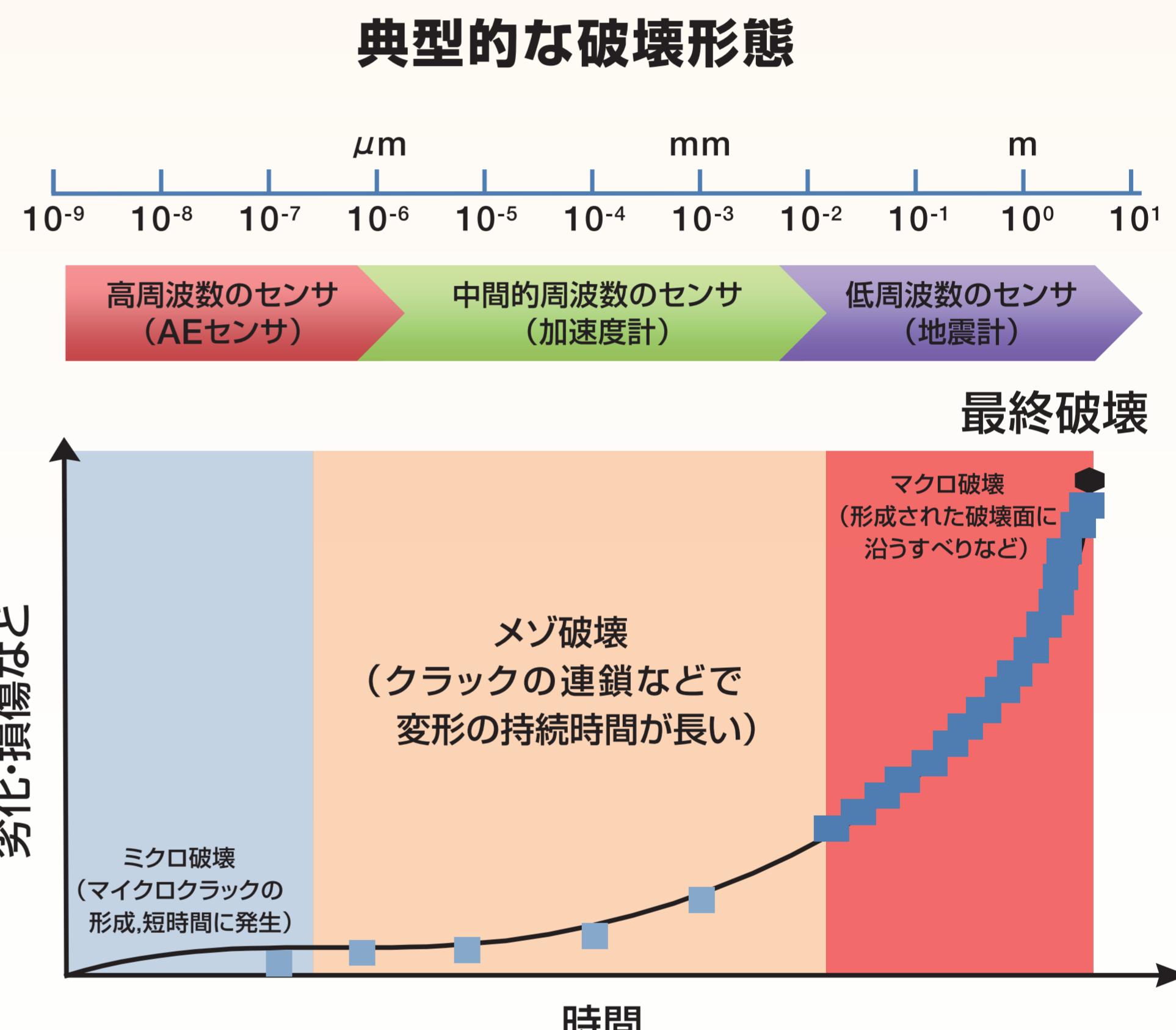
Bridge Sensing System using Super Acoustic Sensor (1)

本研究の差異化ポイント

- ◆超広帯域振動センサ(SA:スーパー・アコースティックセンサ)の開発
- ◆橋梁の健全状態から限界劣化までを1つのセンサでカバー
- ◆手のひらサイズの無線センサ端末により遠隔監視

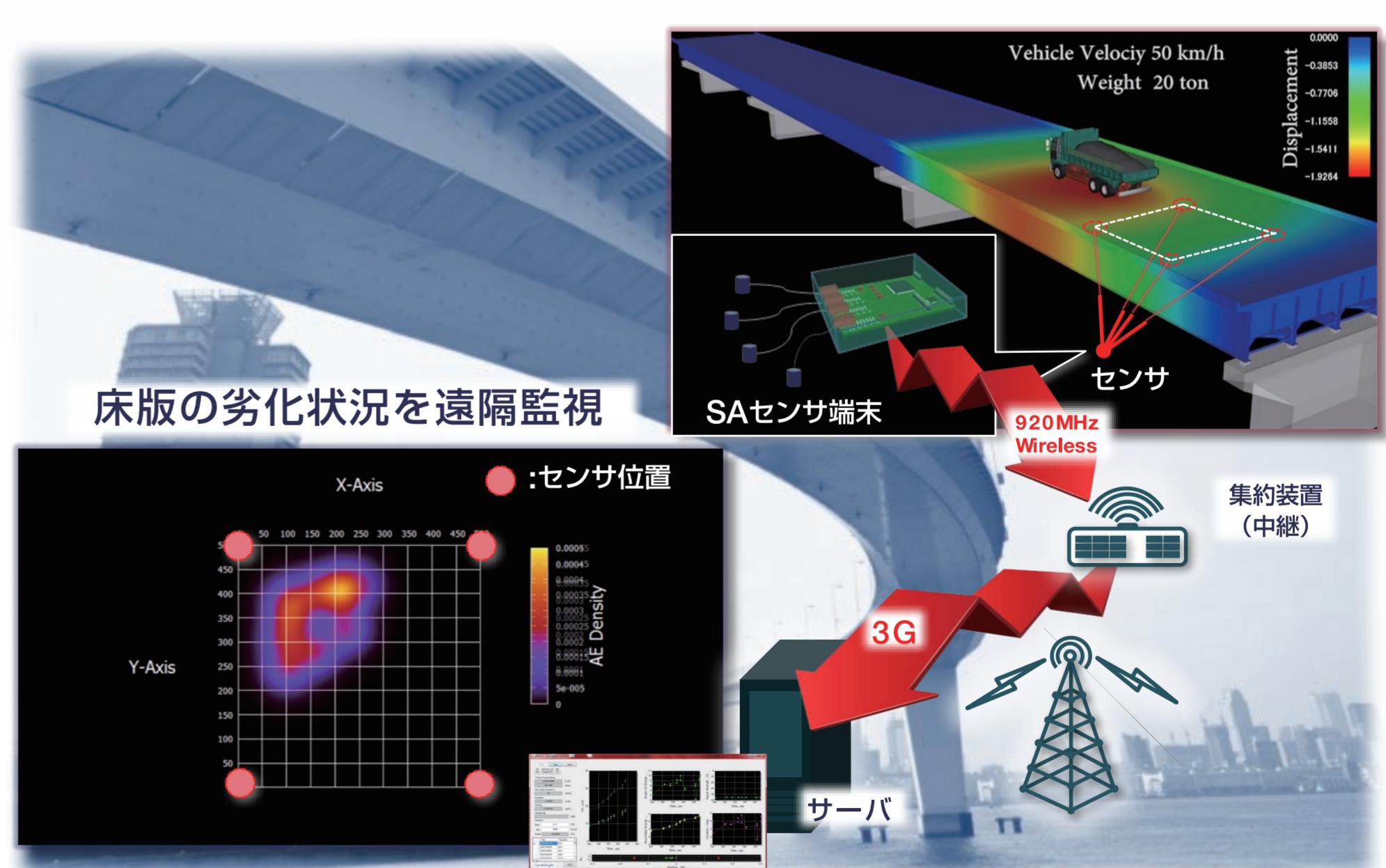
背景とねらい

- 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(ミクロ破壊: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わたり、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)



概要図

- 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
- ▶SAセンサ端末…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。端末間のデータホップにより、大規模インフラセンシングに対応
- ▶サーバでデータを分析し、橋梁の劣化状況を監視



超広帯域振動センサによる橋梁センシング（2）

Bridge Sensing System using Super Acoustic Sensor (1)

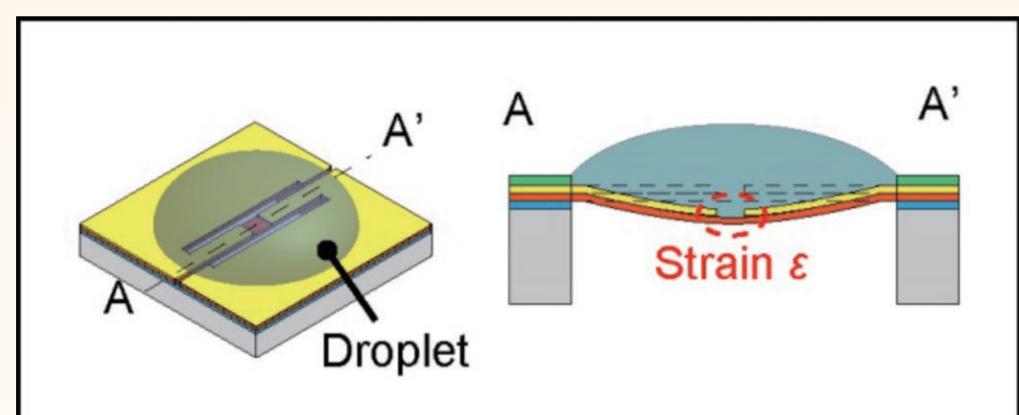
これまでの成果

● 道路インフラ（H26年～）

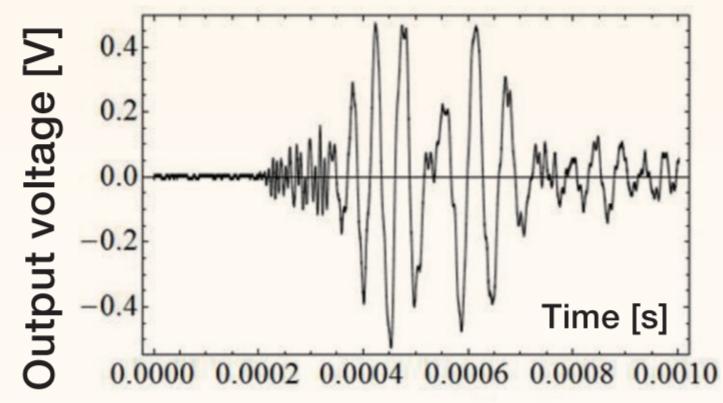
○ SAセンサデバイスの開発

- 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

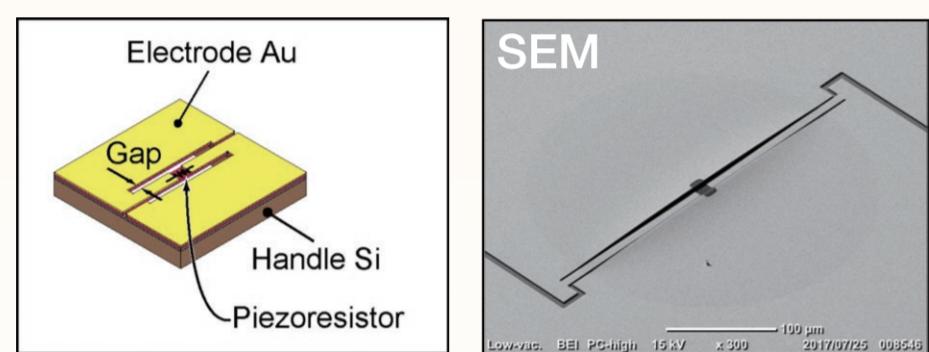
SAセンサの構造



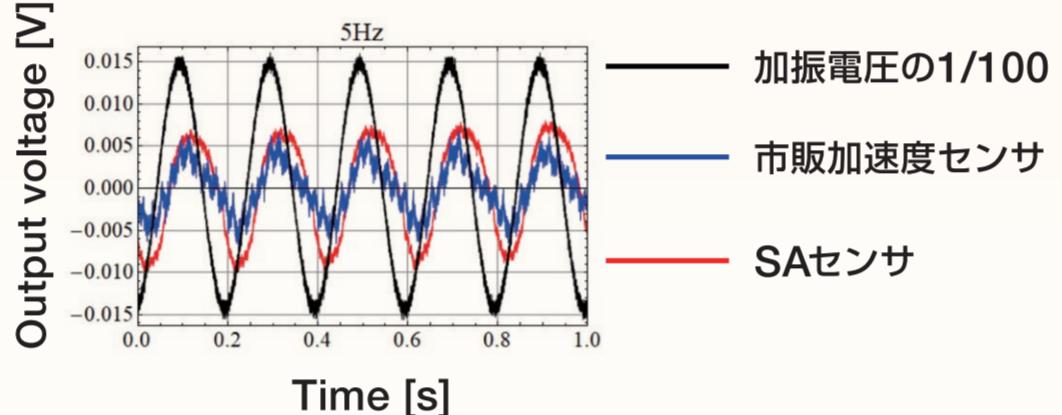
実測AE波形



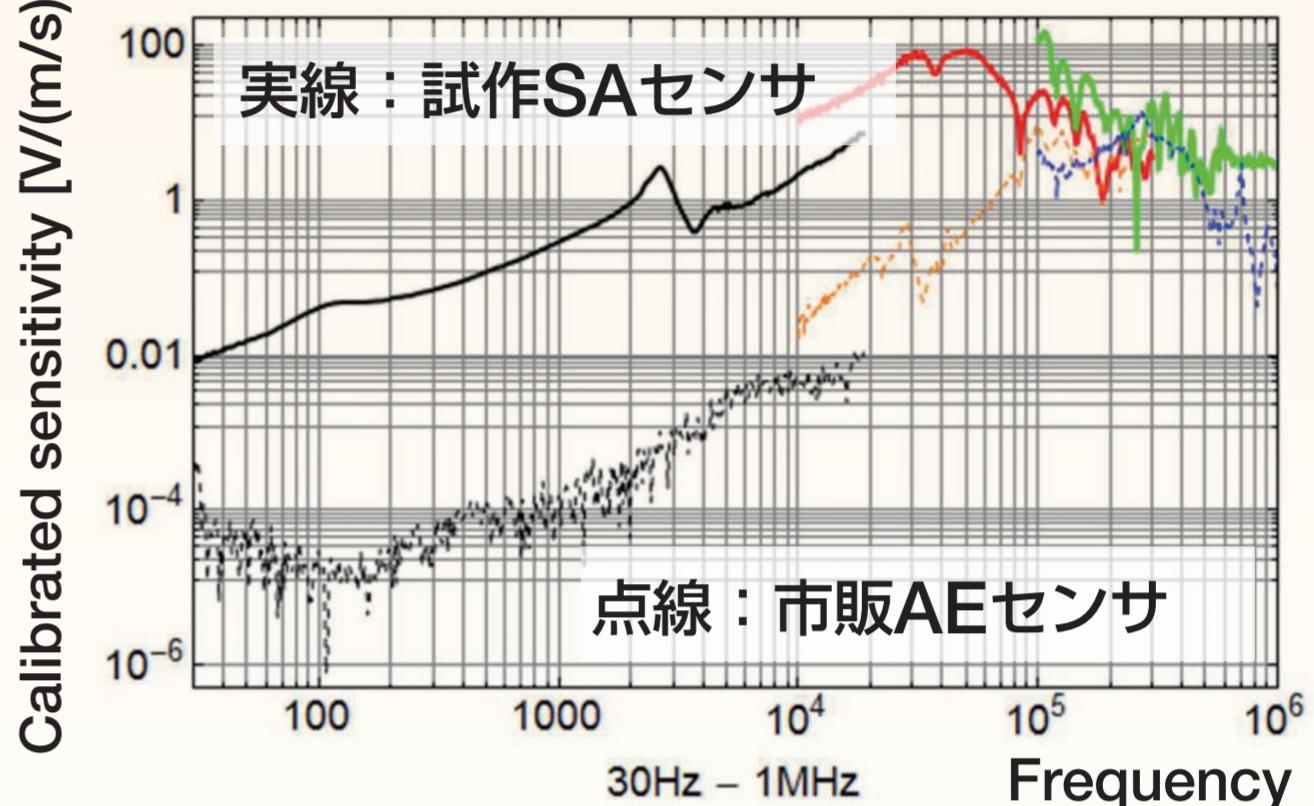
振動検出部



低周波数領域における実測波形

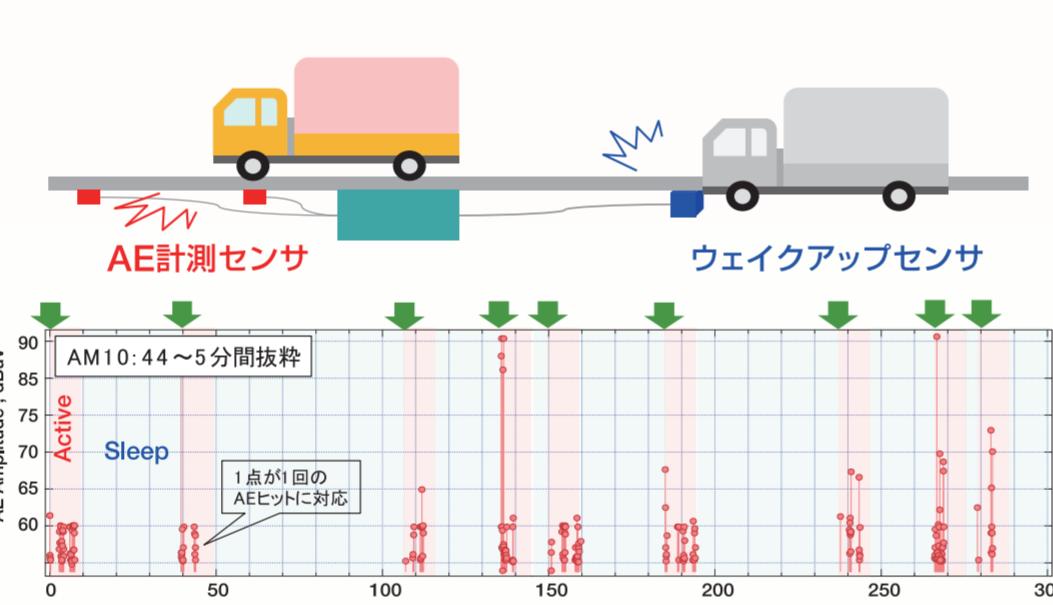
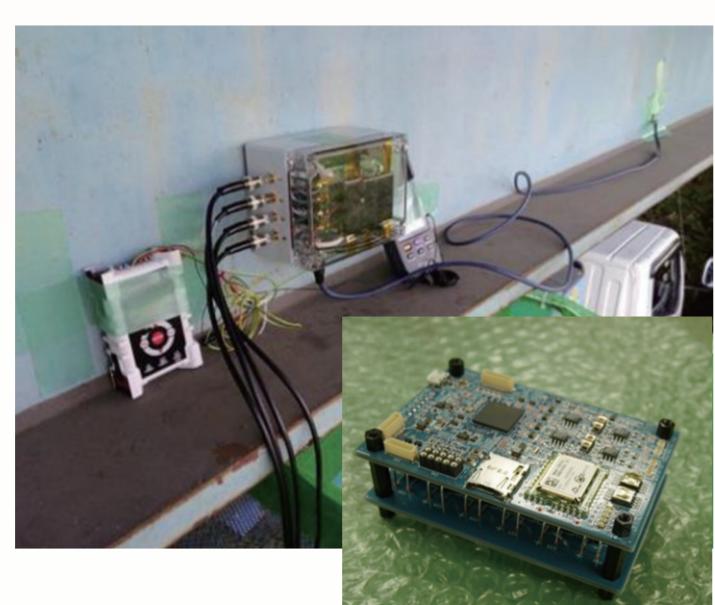


周波数応答特性



○ 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

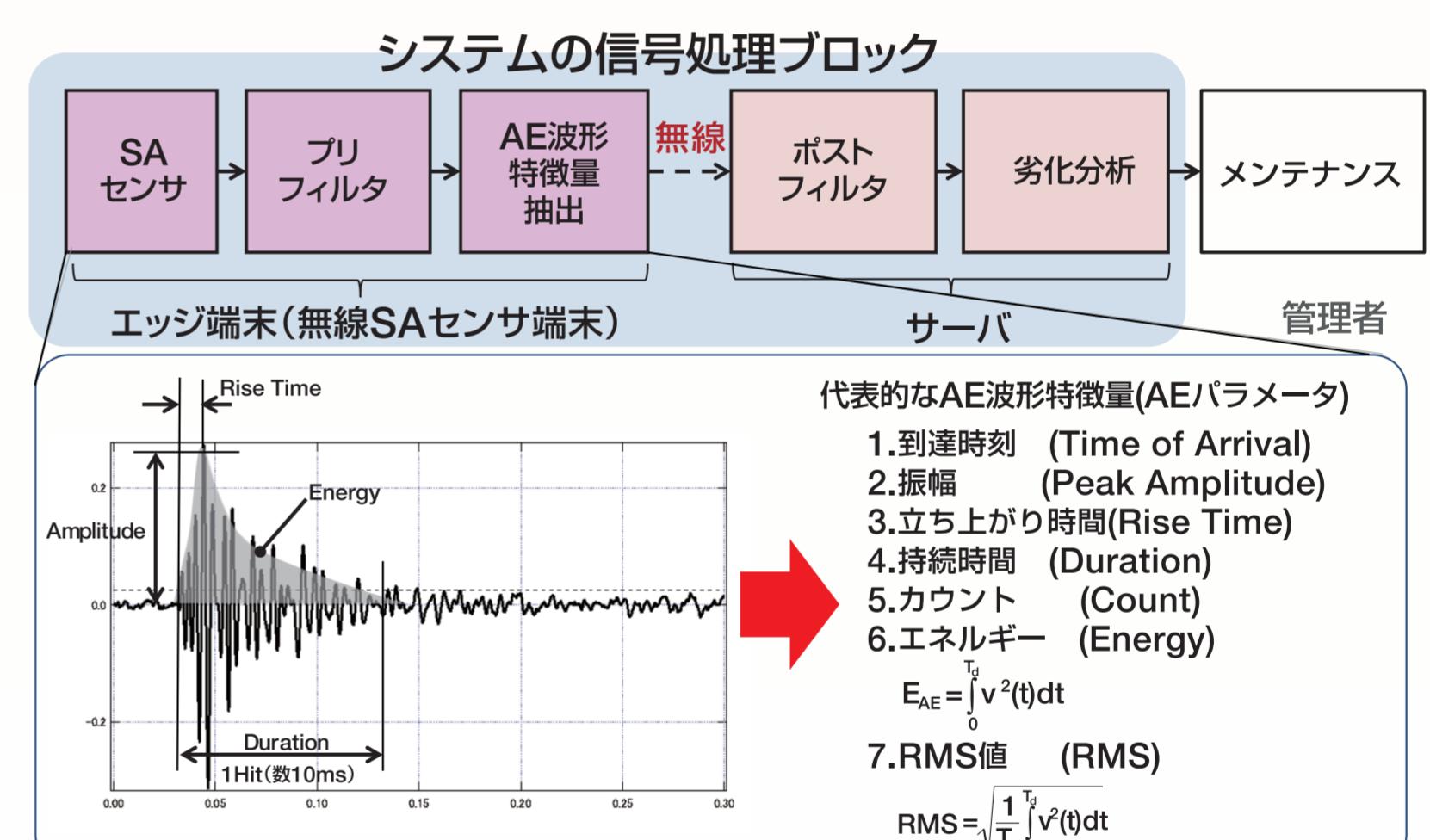


試作端末の橋梁への設置の様子

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

イベントドリブン計測結果

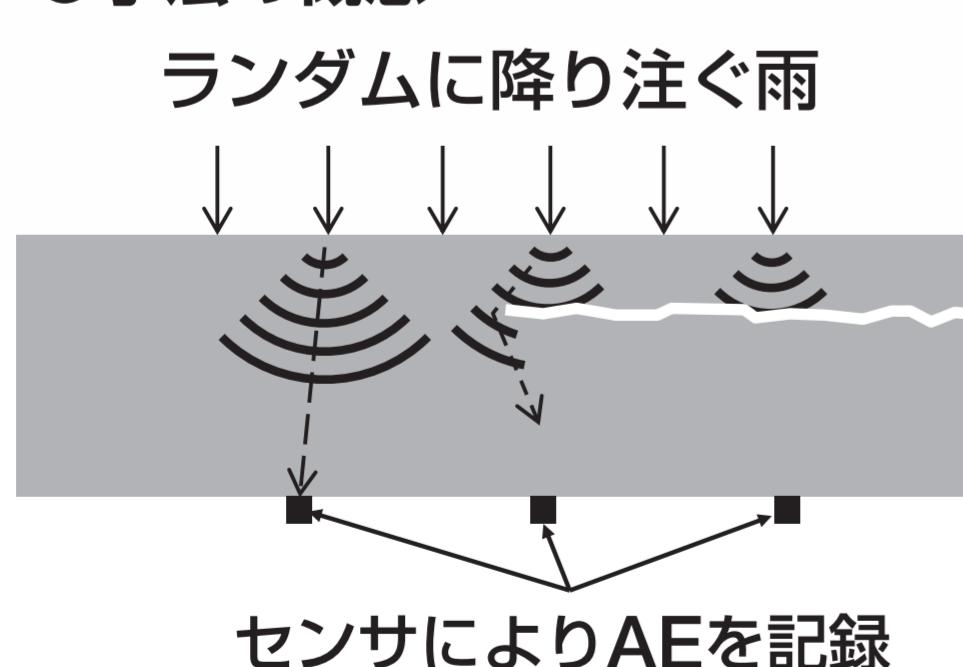
大型車走行時の起動・停止計測。その後スリープし、電力消費を抑制。高速道路橋梁にて大型車走行イベント（矢印部）で計測動作を確認（1分あたり1.8イベント）



○ 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

① 手法の概念

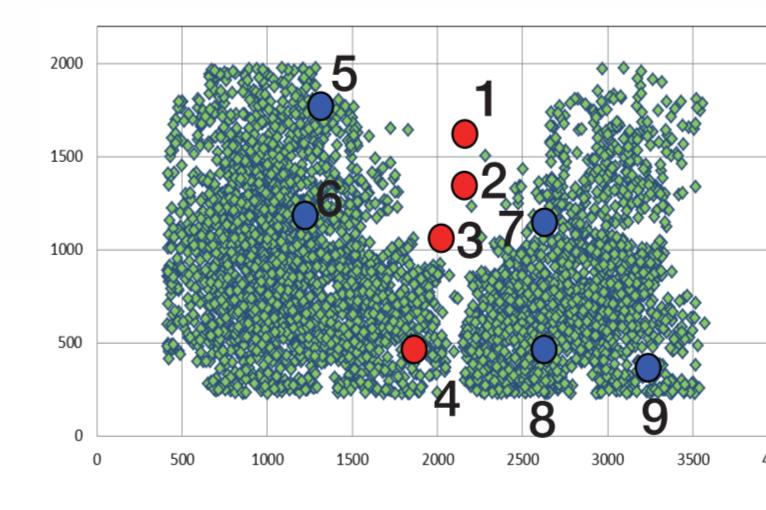


② 手法の実証



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

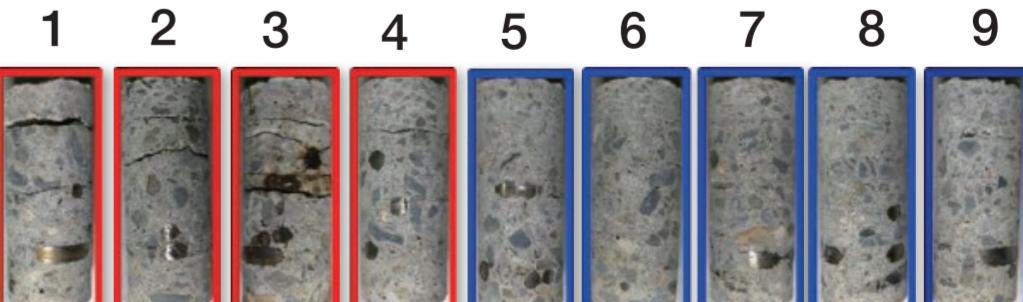


計測時間：700秒
(交通荷重の場合：140時間)

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



外観上は検知できない内部損傷を特定可能などを確認

● 大規模インフラへの展開（H29年～）

○ プレストレストコンクリート構造長大橋を対象に選定

○ 指向性SAセンサのコンセプトを立案

ひずみ分布測定フレキシブル面パターンセンサ (1)

2D-strain-pattern Sensor Sheet (1)

本研究の差異化ポイント

- ◆高感度極薄シリコンひずみセンサアレイ、低成本印刷ひずみセンサアレイ
- ◆ひずみ分布の面パターンから橋梁の亀裂を経過観察、発見、予測
- ◆UV・水蒸気バリア層による長期耐久性、粘接着シートで簡単施工

背景とねらい

●鋼橋の亀裂：

■溶接部付近に発生

- 目視点検(5年に1度)
 - 応力集中する溶接部付近に塗膜割れ確認の場合渦流探傷、磁粉探傷で亀裂を探索

- 補修・補強
 - ストップホール、溶接などを行った後、経過観察

研究開発のねらい

- ・ひずみセンサアレイの開発
- ・補修部、溶接部に貼付け
亀裂の経過観察、発見、
予測するフレキシブル面
パターンセンサを実現



●ひずみセンサアレイシート：

- 箔ひずみゲージは消費電力大、アレイ化の施工困難、配線が煩雑

→フレキシブル回路基板上に圧電あるいは高抵抗ひずみセンサアレイを形成、センサアレイシートを接着シートで貼り付け、無線送信

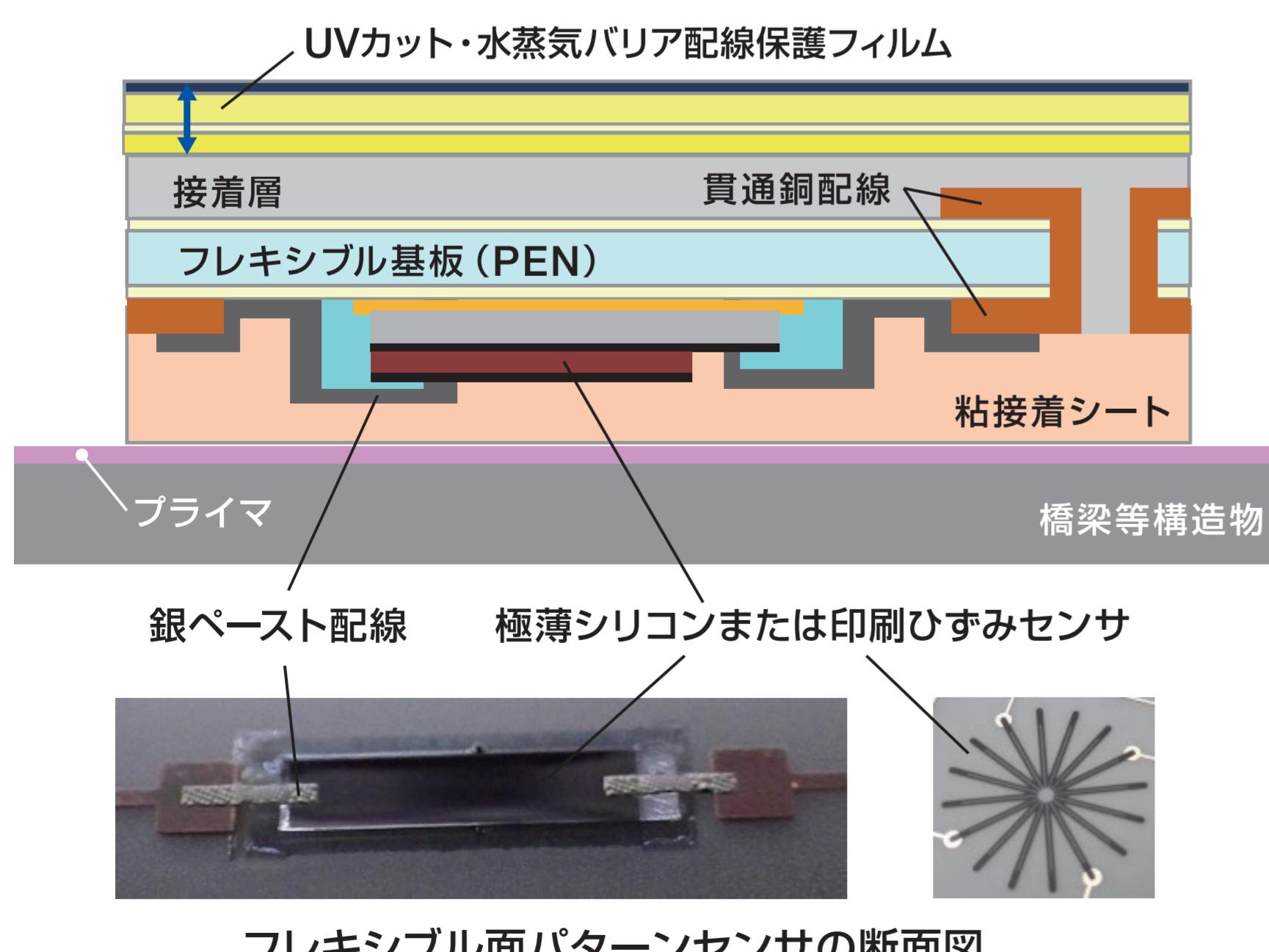
- 静ひずみに通行車両由来の動ひずみが重畠する、動ひずみは車重に依存

→通常は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、通行規制時に静ひずみ異常から亀裂検出

- フレキシブル基板等樹脂材料の耐久性低

→新規開発したUV・水蒸気バリア層でひずみセンサアレイシートを保護

概要図



ひずみ分布測定フレキシブル面パターンセンサ (2)

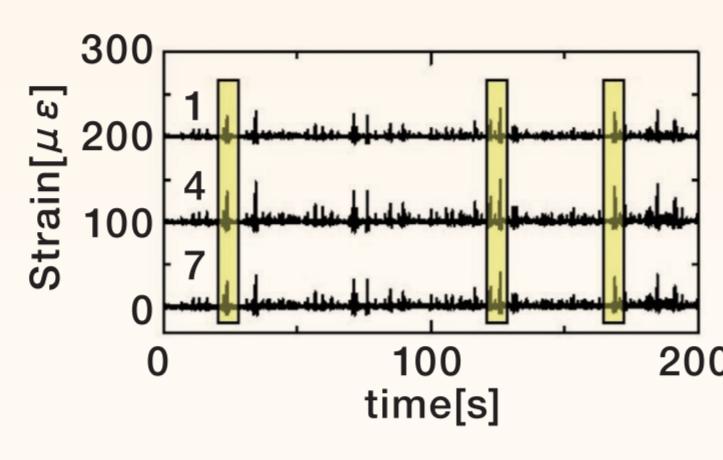
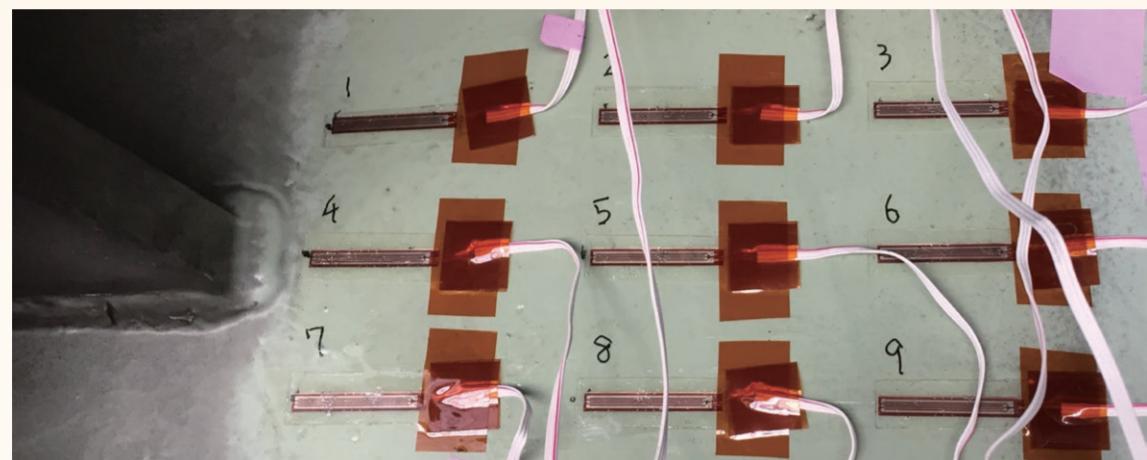
2D-strain-pattern Sensor Sheet (2)

これまでの成果

● 道路インフラ (H26年~)

○ 実橋の動ひずみ分布

箔ひずみゲージで実鋼橋の動ひずみ分布測定

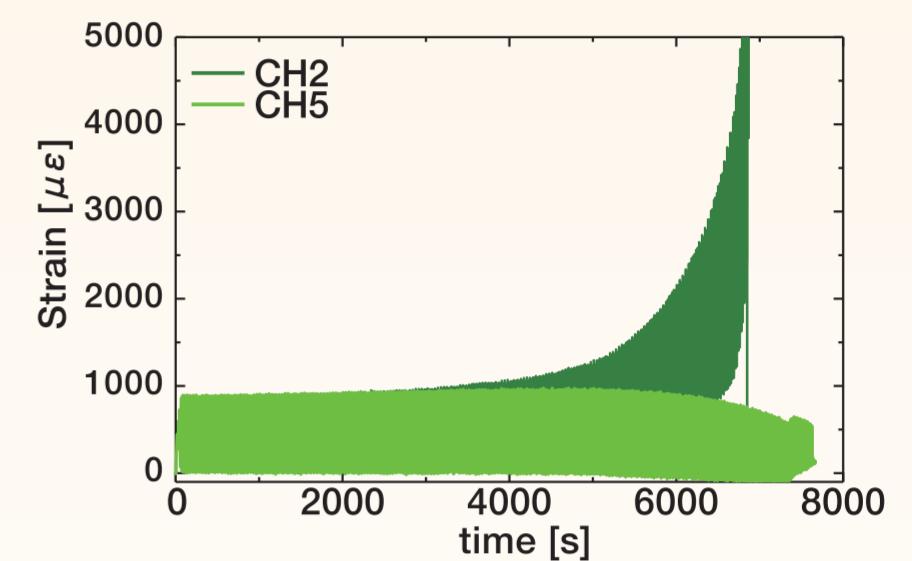
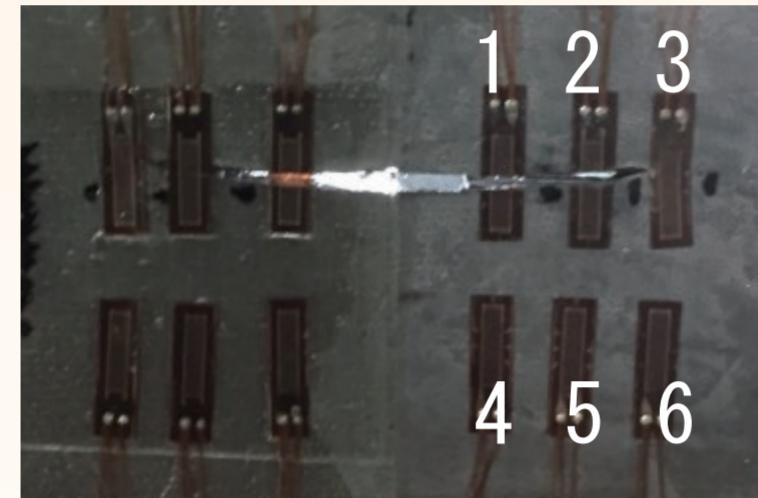
ひずみ分布の面パターン ($\times 10^{-6}$)

t=24s			t=126s			t=185s		
23	28	29	31	39	39	29	36	37
34	30	32	49	43	43	45	39	39
29	31	31	40	44	43	37	41	40

- 車両通過により $10\sim100\mu\epsilon$ の動ひずみが発生
- 動ひずみ値は車重に依存するが、ひずみ分布の面パターンは同様→溶接部付近の応力集中が見える

○ 亀裂の経過観察 (試験体)

試験体で亀裂進展時の動ひずみ分布測定

ひずみ分布の面パターン ($\times 10^{-6}$)

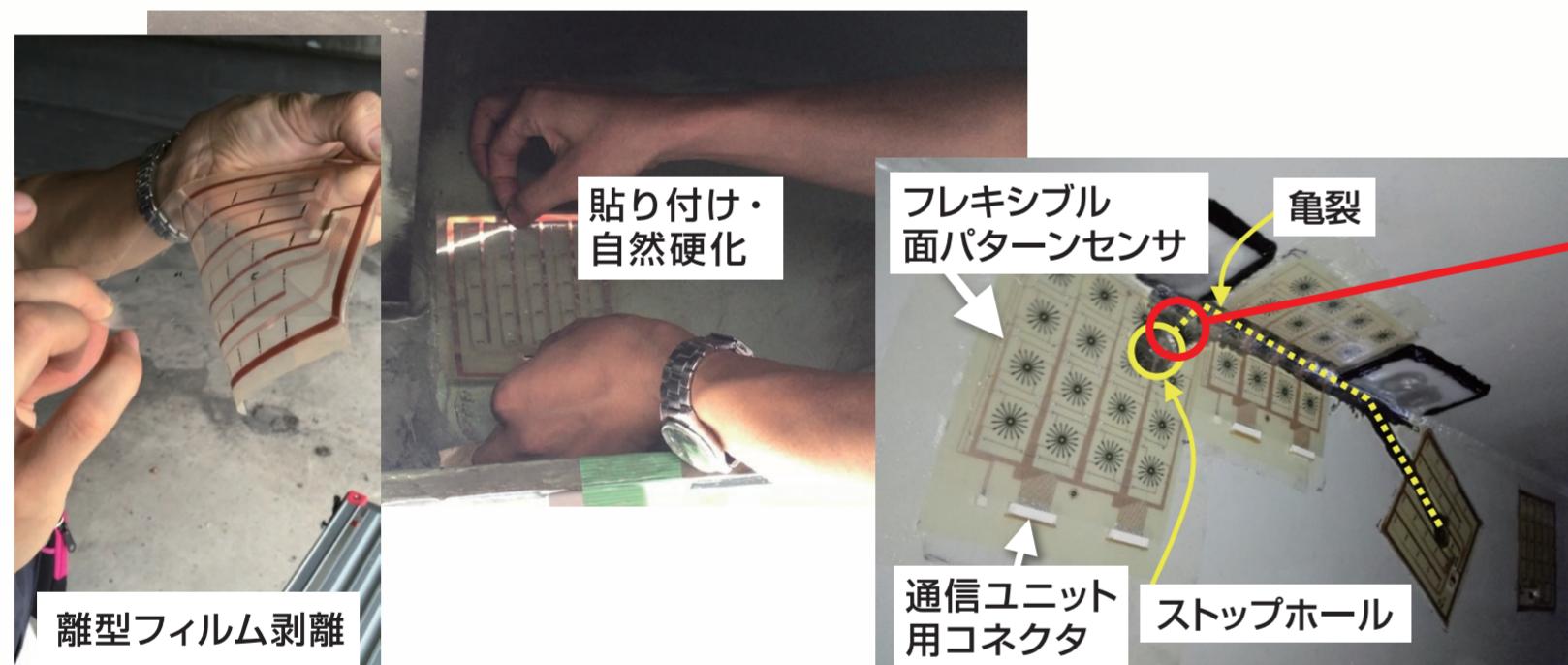
1000s	3000s	5000s	7000s
1200	900	800	1900
700	900	800	600

1000s	3000s	5000s	7000s
3000	1000	800	3000
500	800	800	300

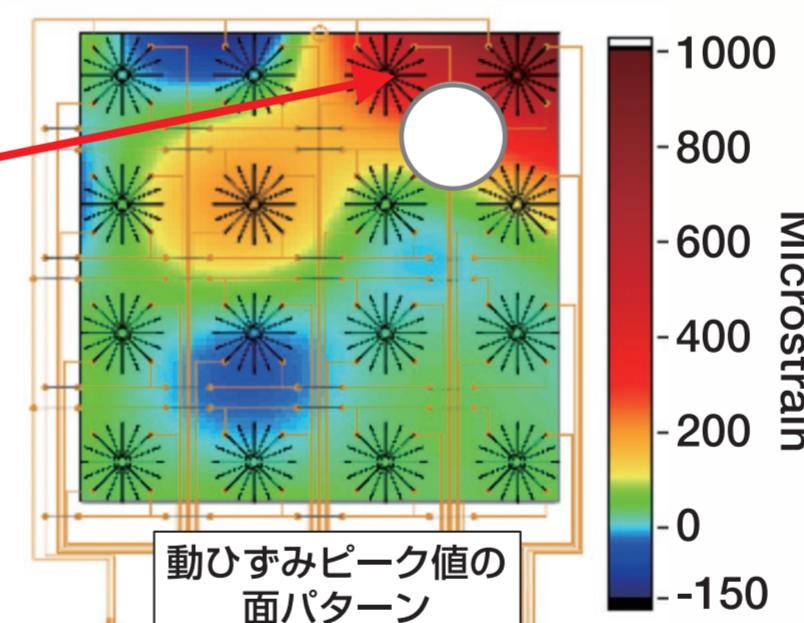
- 亀裂発生により $1000\mu\epsilon$ 以上の動ひずみが発生

○ フレキシブル面パターンセンサの施工とひずみ分布測定

湿布感覚のカンタン施工



亀裂部の応力集中の可視化に成功

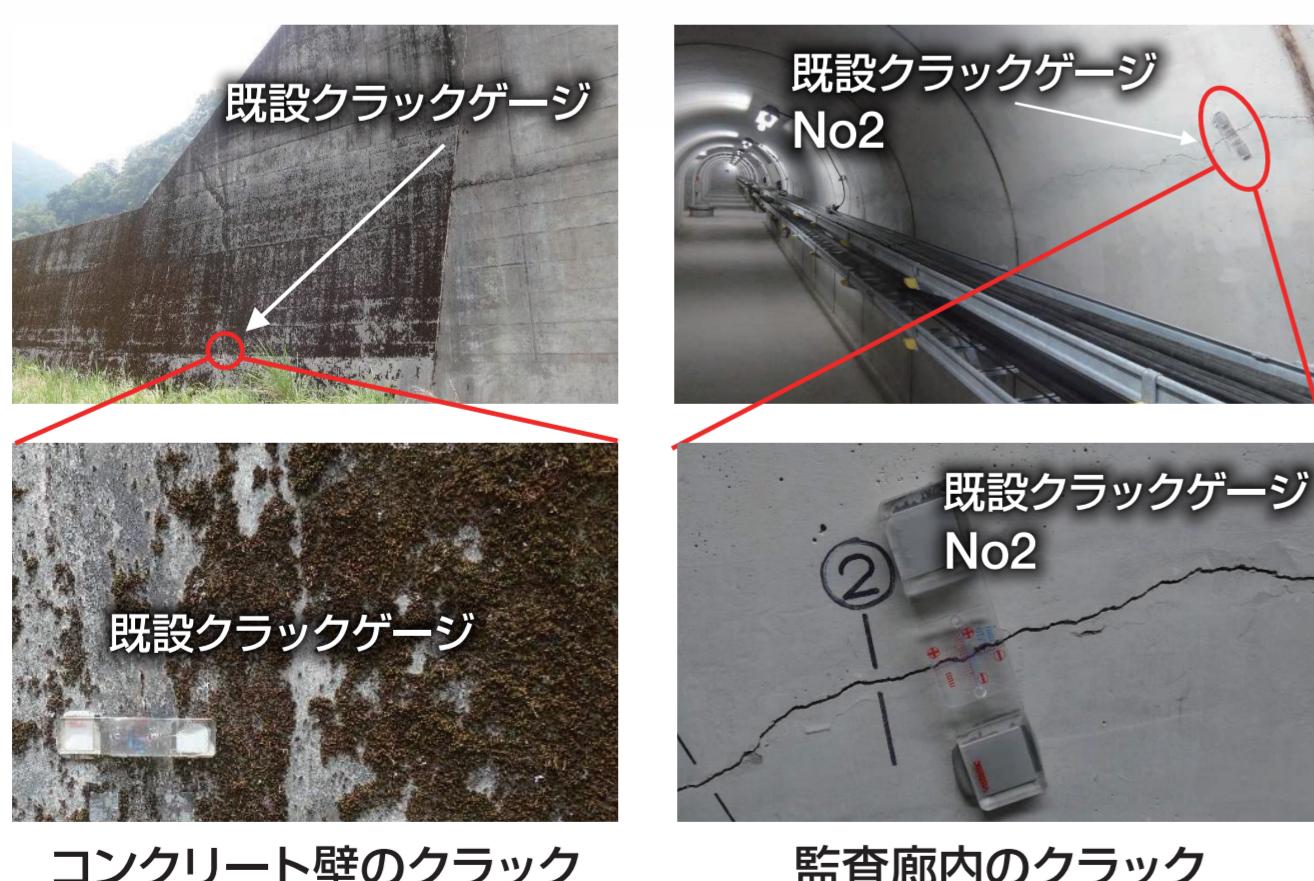


通信ユニット消費電力

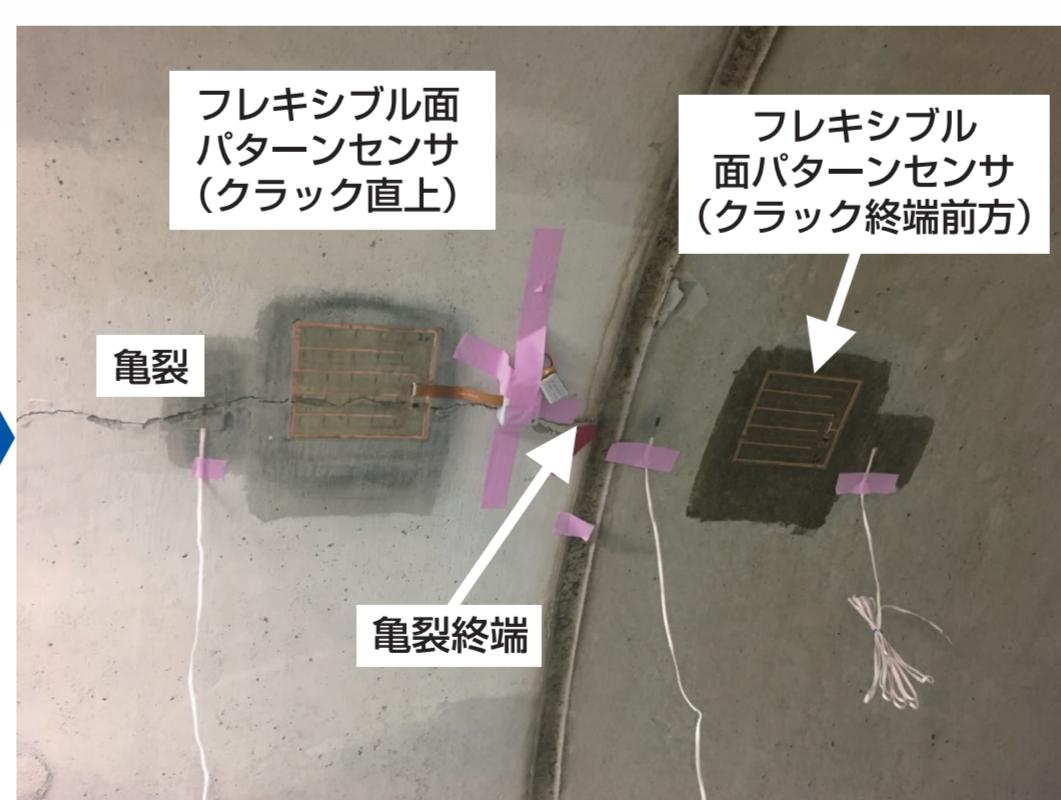
電力	駆動時	待機
アンプ、ADC	11.84mW	0mW
MCU、RFIC	111mW	0.037mW

常時駆動 123mW
 每時10分間 20mW
 每時2分間 4mW
 → 小型太陽電池で駆動可能

● 大規模インフラへの展開 (H29年~)



現状ではクラックゲージの
目視点検による経過観察



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

○ 亀裂の開口変位と進展の監視が必要

→ ひずみと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

○ ダム監査廊内は閉鎖空間であり通信環境が悪い

→ 複数の中継機を経由させる通信システムを検討

傾斜マルチセンサによる情報板のモニタリング（1）

Road Information Board Monitoring using Tilt-multi-sensor (1)

本研究の差異化ポイント

- ◆MEMSセンサによる傾斜マルチセンサ端末（傾斜・振動・温度を同時計測）
- ◆低消費電力化（自立電源）と高速無線通信
- ◆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

背景とねらい

■点検の現状：付帯設備の老朽化進展と技術者不足

- 今後20年で建設後50年以上経過する施設が増加
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

情報板通常点検の現状
(イメージ図)

■課題への対応：点検の効率化と判定結果の定量化

- 構造物の変化や変状を検出・定量化、定量結果に基づく点検業務の支援及び効率化

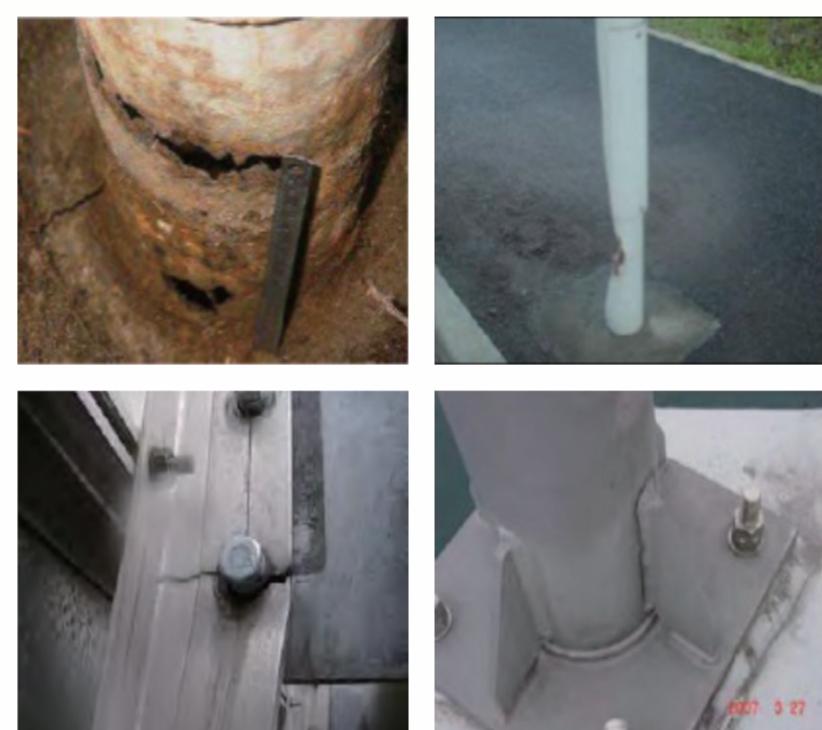
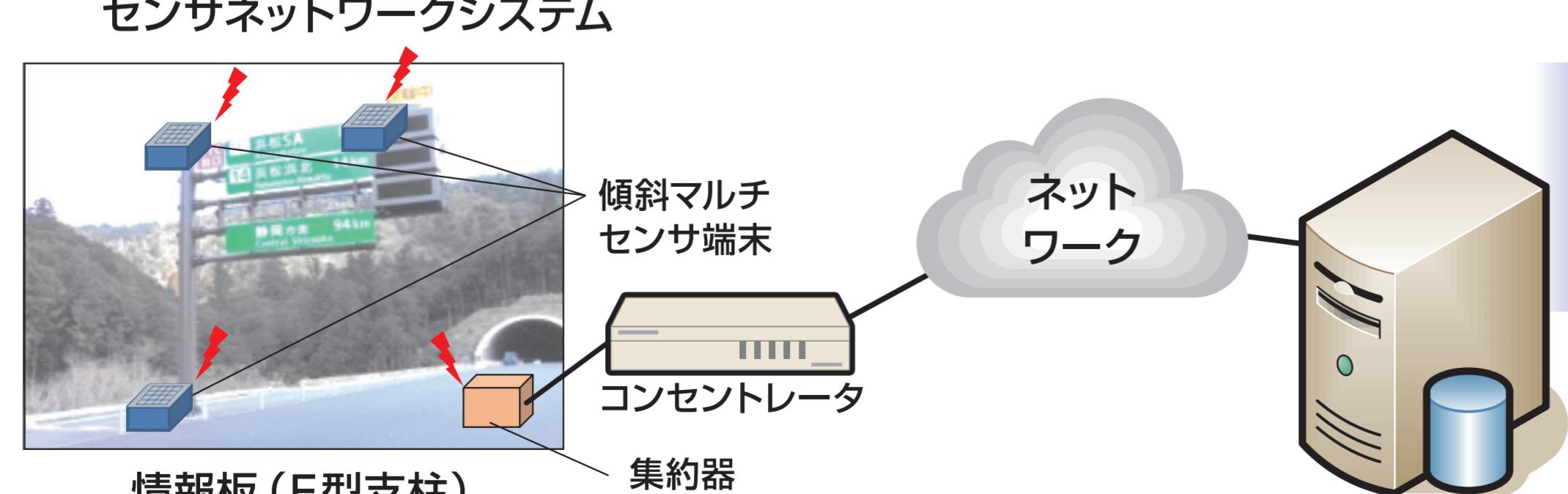
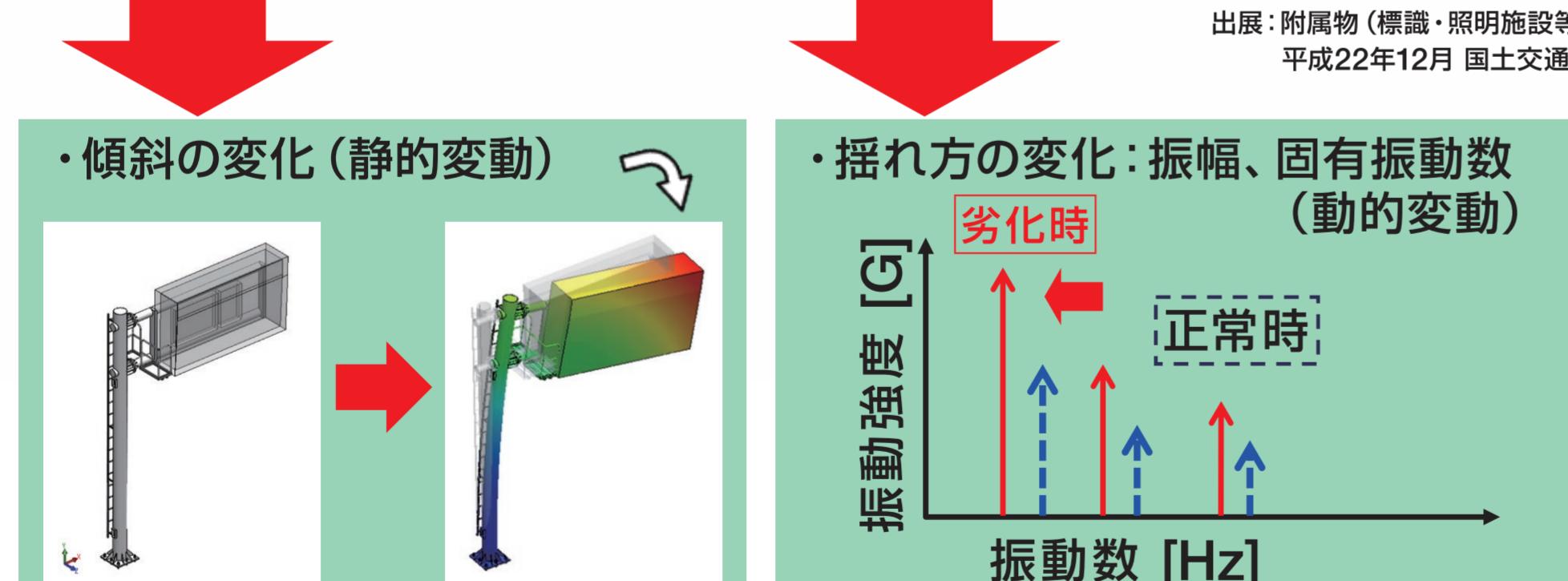
■大規模模インフラへの展開

- 公衆災害リスクのある発電施設の常時監視

概要図

基本原理

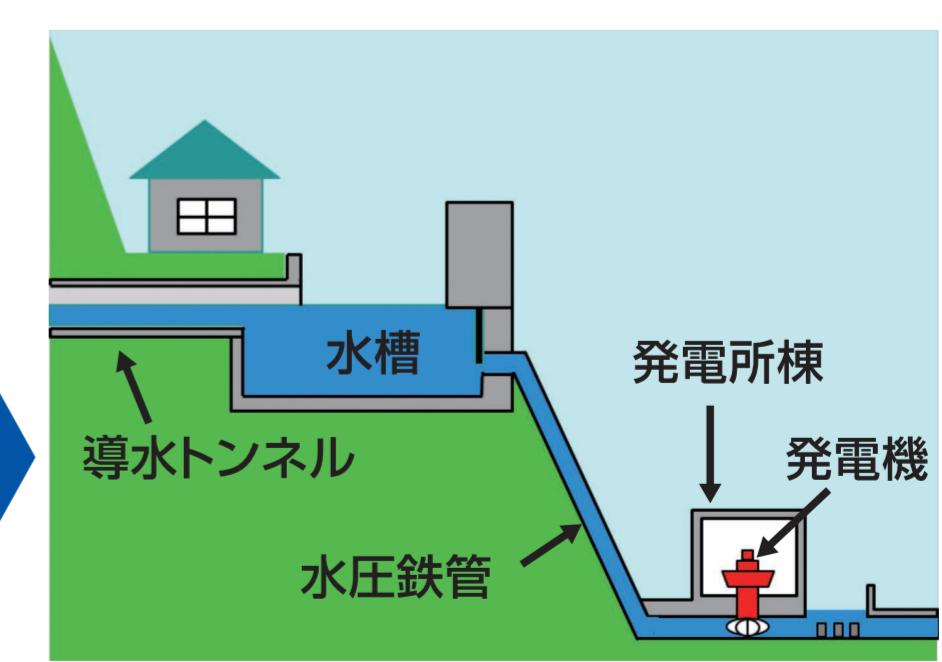
- ・構造材の腐食による減肉や亀裂
- ・ボルト締結部の緩み
- ・災害時の変形や基礎部の変動

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

- 道路付帯構造物（情報板等）の静的な
変化（傾斜）と動的な変化（振動）を同
時にセンシング
*傾斜マルチセンサ端末の開発

- センサネットワークシステムを構築し
常時モニタリングを実現
*センサネットワークシステムの開発

- 大規模インフラモニタリングへの展開
*エネルギー施設での実証

大規模インフラへの展開
(エネルギー施設)

傾斜マルチセンサによる情報板のモニタリング（2）

Road Information Board Monitoring using Tilt-multi-sensor (2)

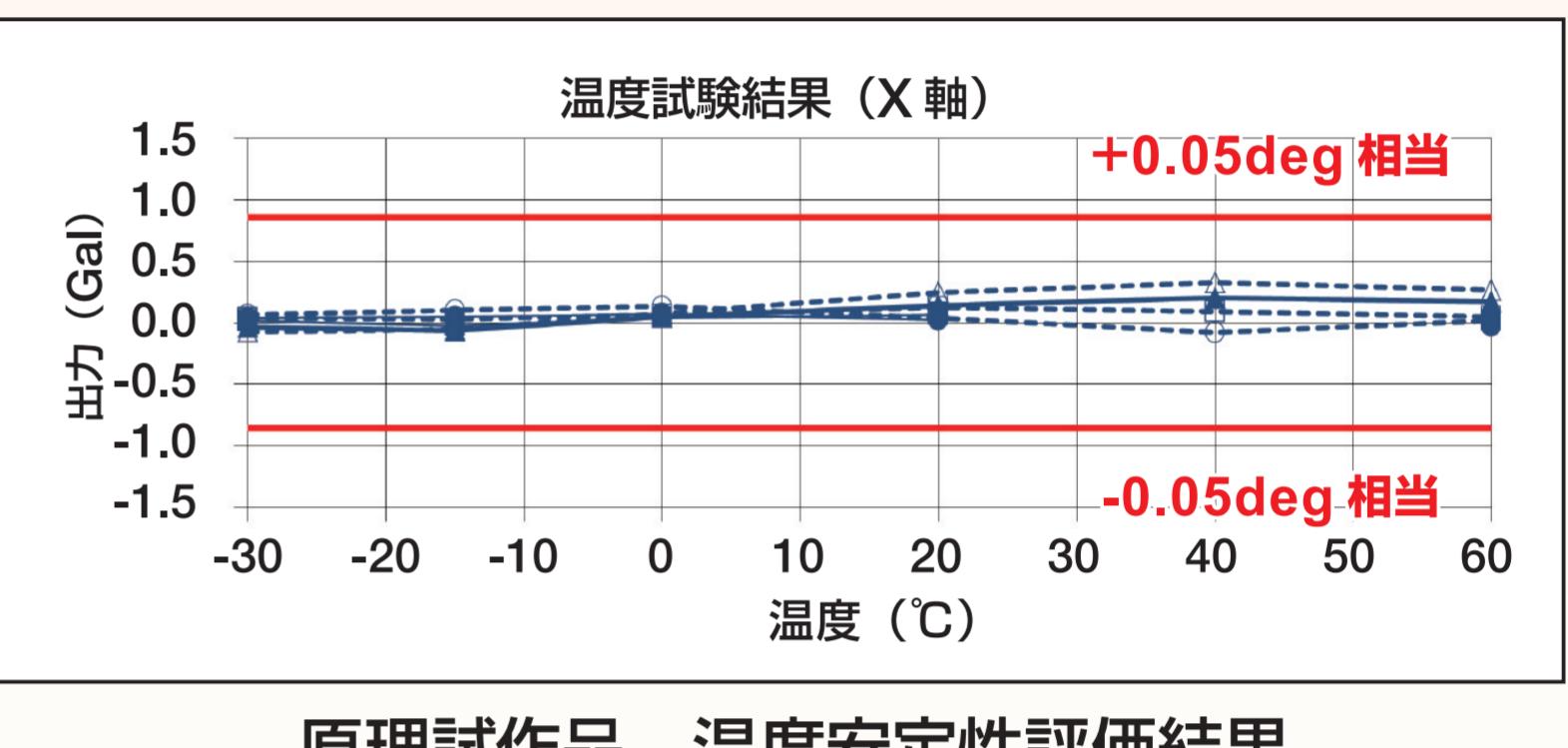
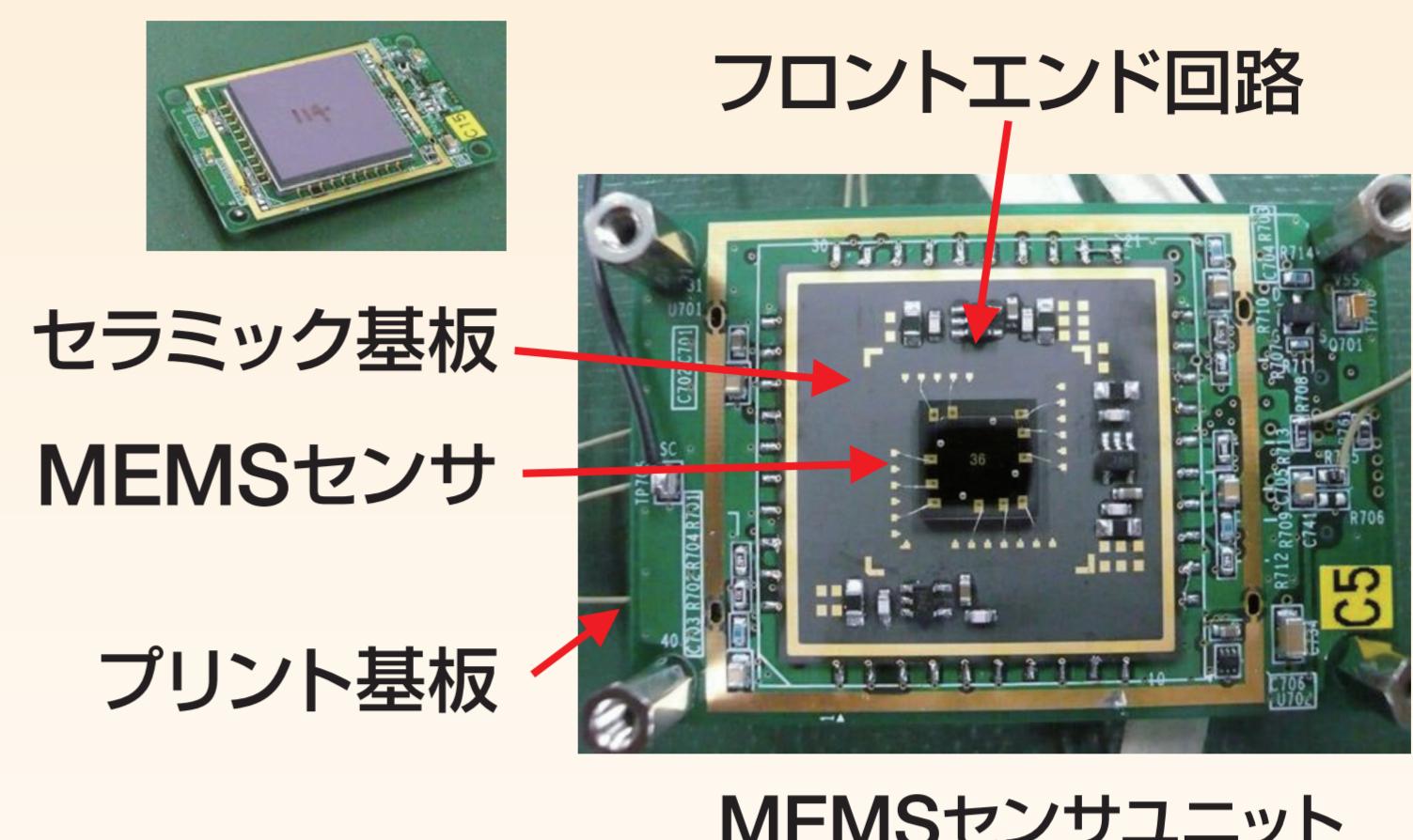
これまでの成果

●道路インフラ（H26年～）

- 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：
 - ①傾斜計測の出力安定性: 0.05deg
 - ②振動計測の分解能: 0.1Gal

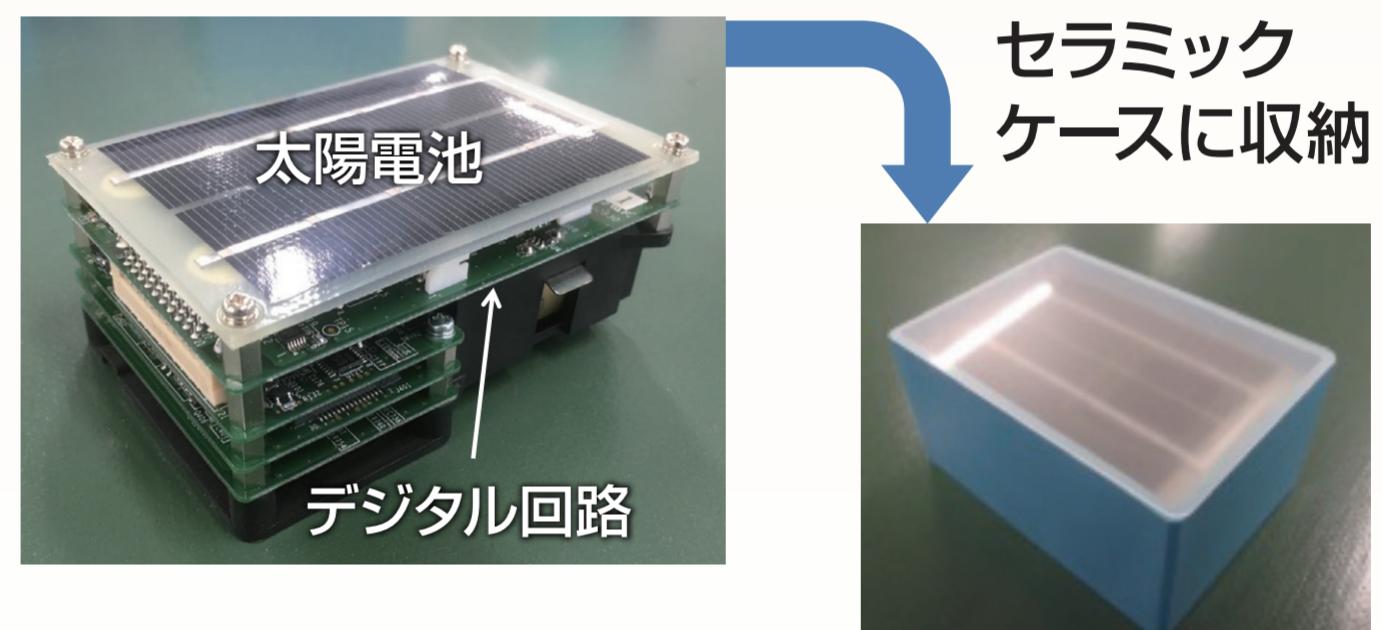
<成果概要>

- ・MEMSセンサ部をユニット化
温度安定性0.05deg達成（原理試作）
ユニット構造化品評価中



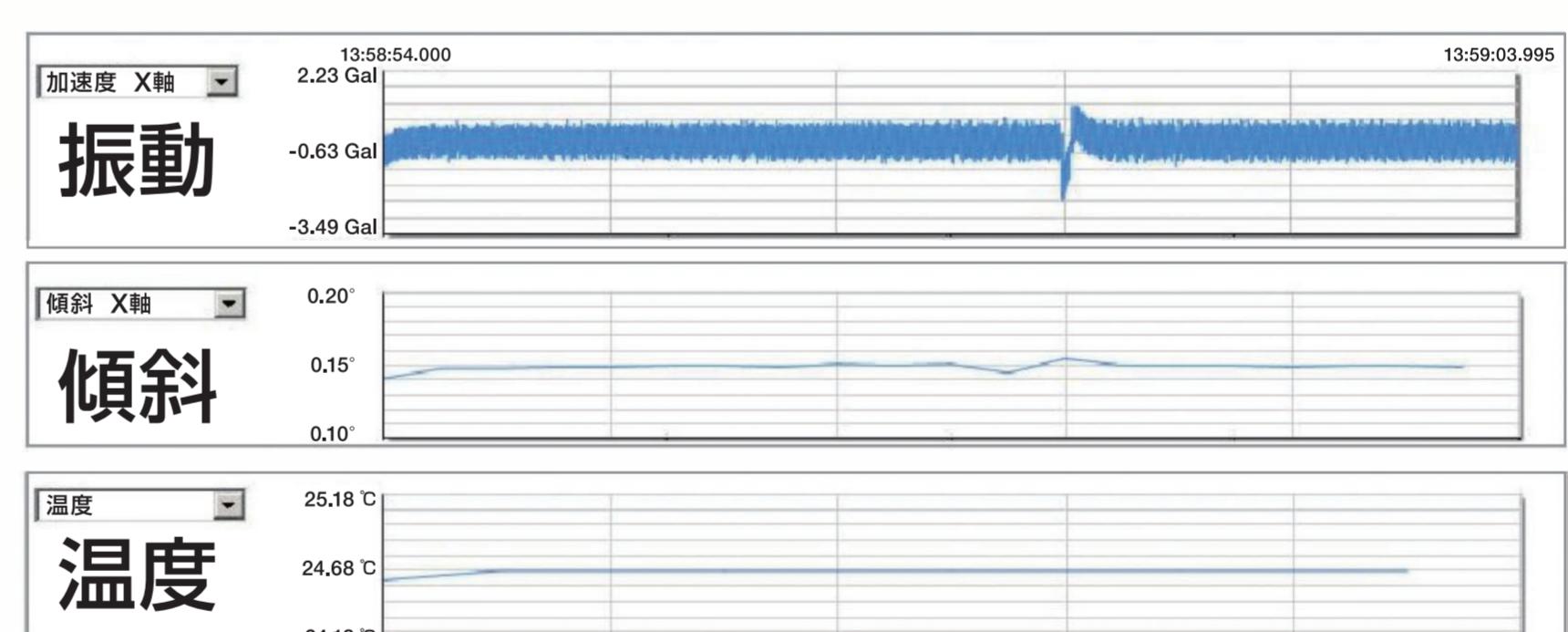
○傾斜マルチセンサ端末の開発

- 開発目標：
 - ①傾斜・振動・温度を同時計測
 - 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）を平均0.5mWで無線転送



<成果概要>

- ・センサ端末完、情報板へ設置・実証準備中
- ・傾斜・振動・温度の同時計測確認
- ・実情報板での無線通信確認



○システム構築と実証試験

- ・先行フィールド試験（既存センサ使用）
高速道路情報板にて傾斜・振動・温度をモニタリング
- ・集約器の開発
動作試験完了、情報板へ設置・実証準備中



●大規模インフラへの展開（H29年～）

○実証サイト選定、適用開発/実証開始

- ・水力発電施設を選定
- ・現地調査実施し適用開発着手

高頻度・全天候型・3次元で法面変位計測（1）

High Data Rate, All Weather, and 3D Landslide Detection (1)

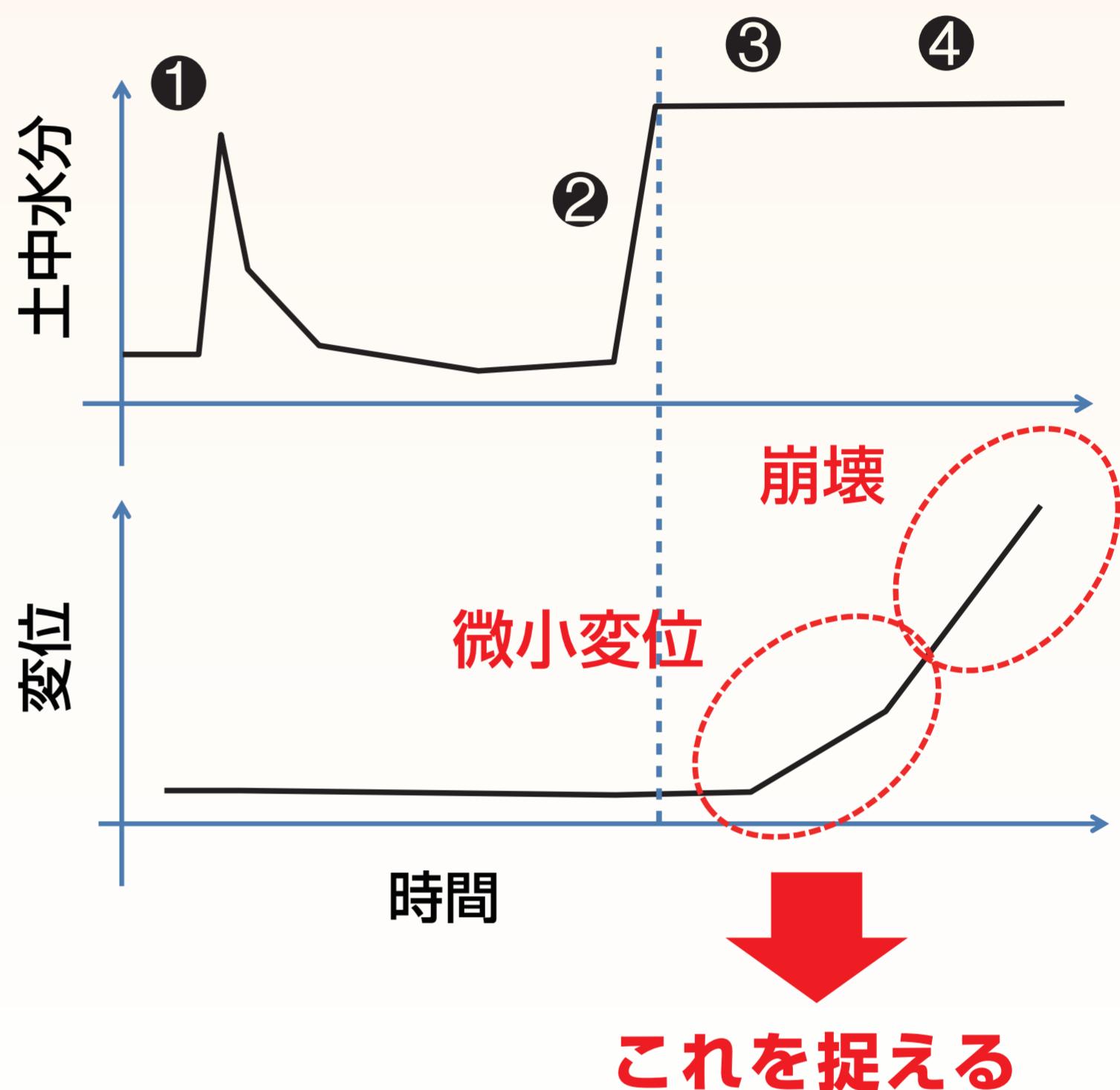
本研究の差異化ポイント

- ◆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

背景とねらい

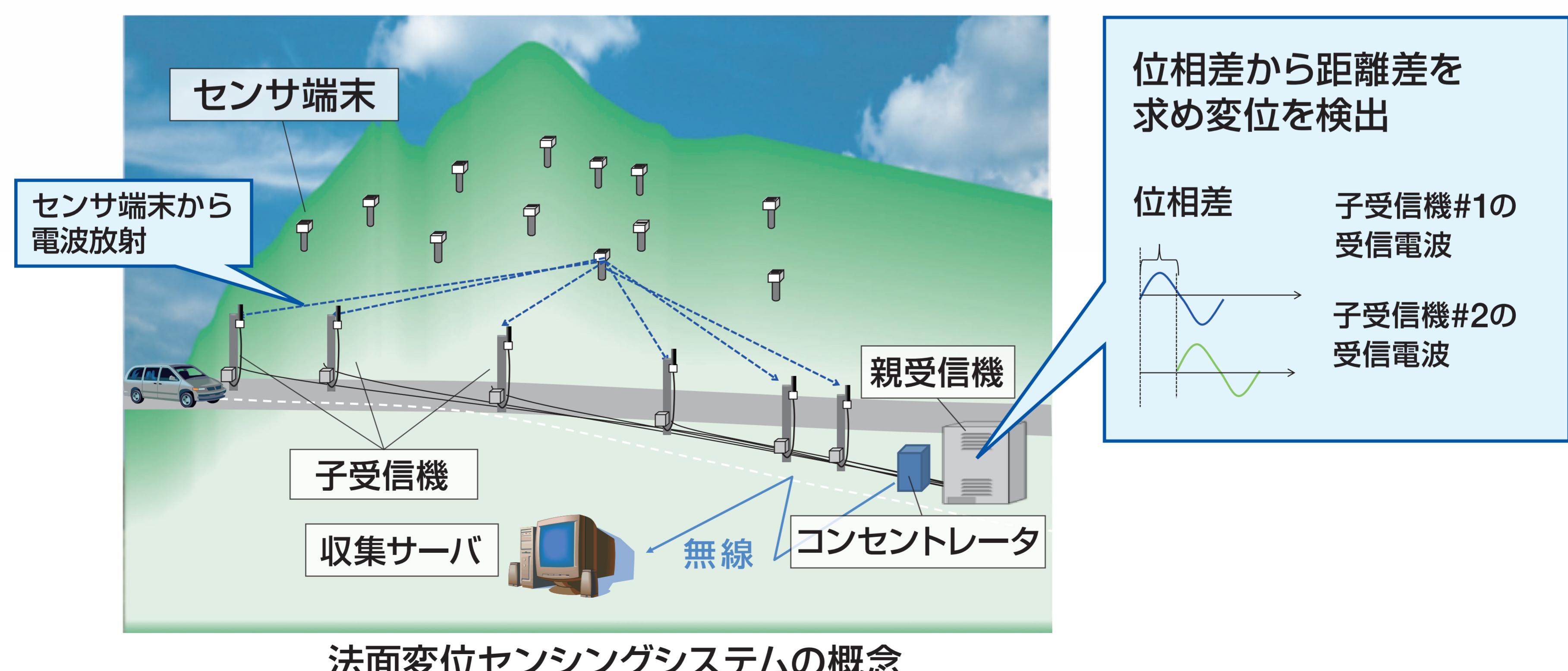
法面崩壊のメカニズム[1]

- ①降雨による地盤・岩盤への水の浸透
 - ②地盤・岩盤内での斜面を支える力の減少
 - ③微小変位発生
 - ④大変位（崩壊）発生
- ◆微小変位を早期に検出することで、法面の変状を明確にし、維持管理・通行止めの判断の指標とする
 - ◆従来、光波測量計が用いられているが、雨天時の計測に問題がある



[1]小泉他, “無線センサネットワークによる多点型土砂災害予測システムの開発,” H24年度 国交省 国土技術研究会発表論文

概要図



高頻度・全天候型・3次元で法面変位計測（2）

High Data Rate, All Weather, and 3D Landslide Detection (2)

これまでの成果

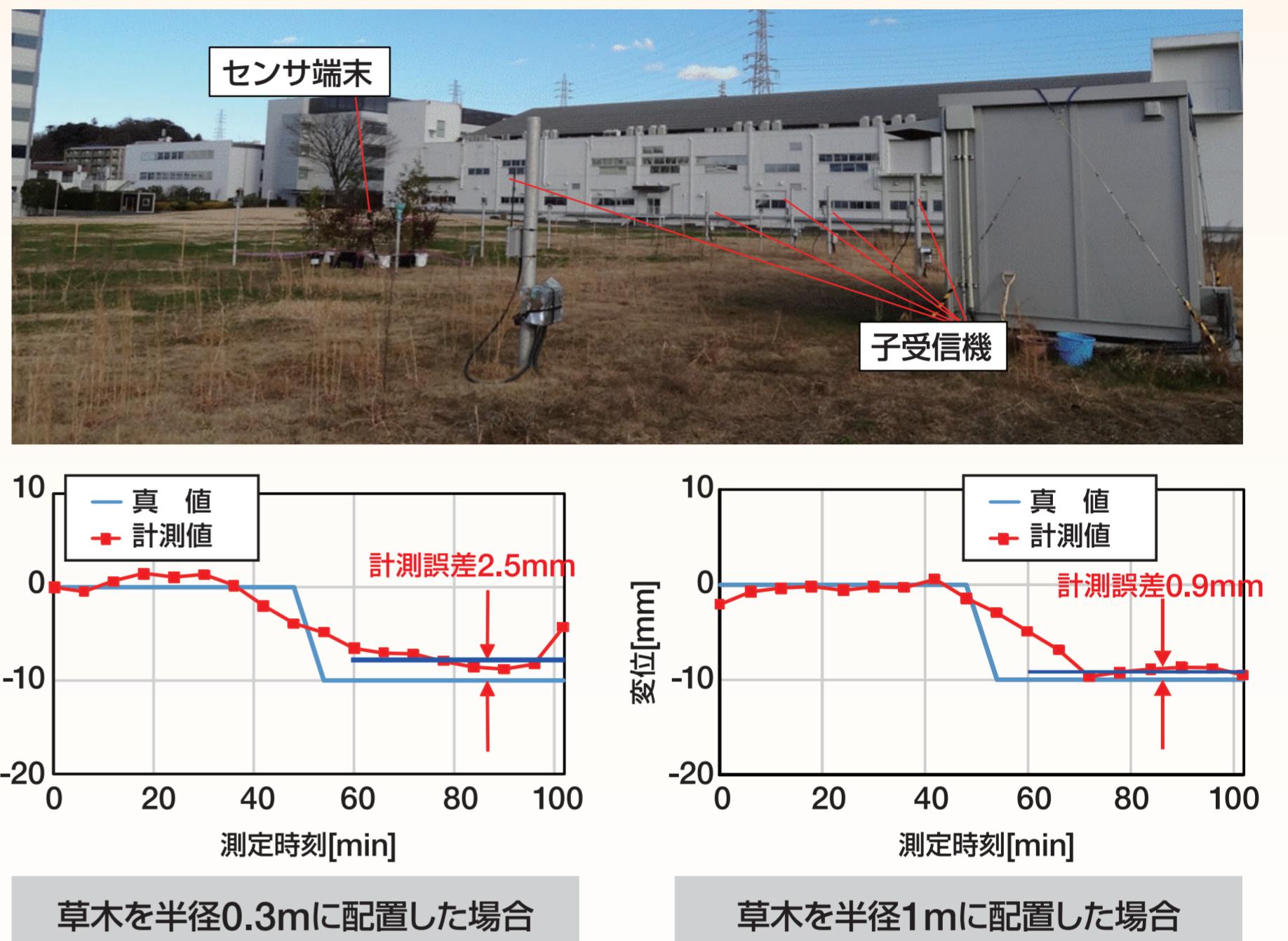
●道路インフラ（H26年～）

原理検証実験

- 月山湖PAにおける事前実証実験にて、草木の影響により変位計測誤差が増加することが判明

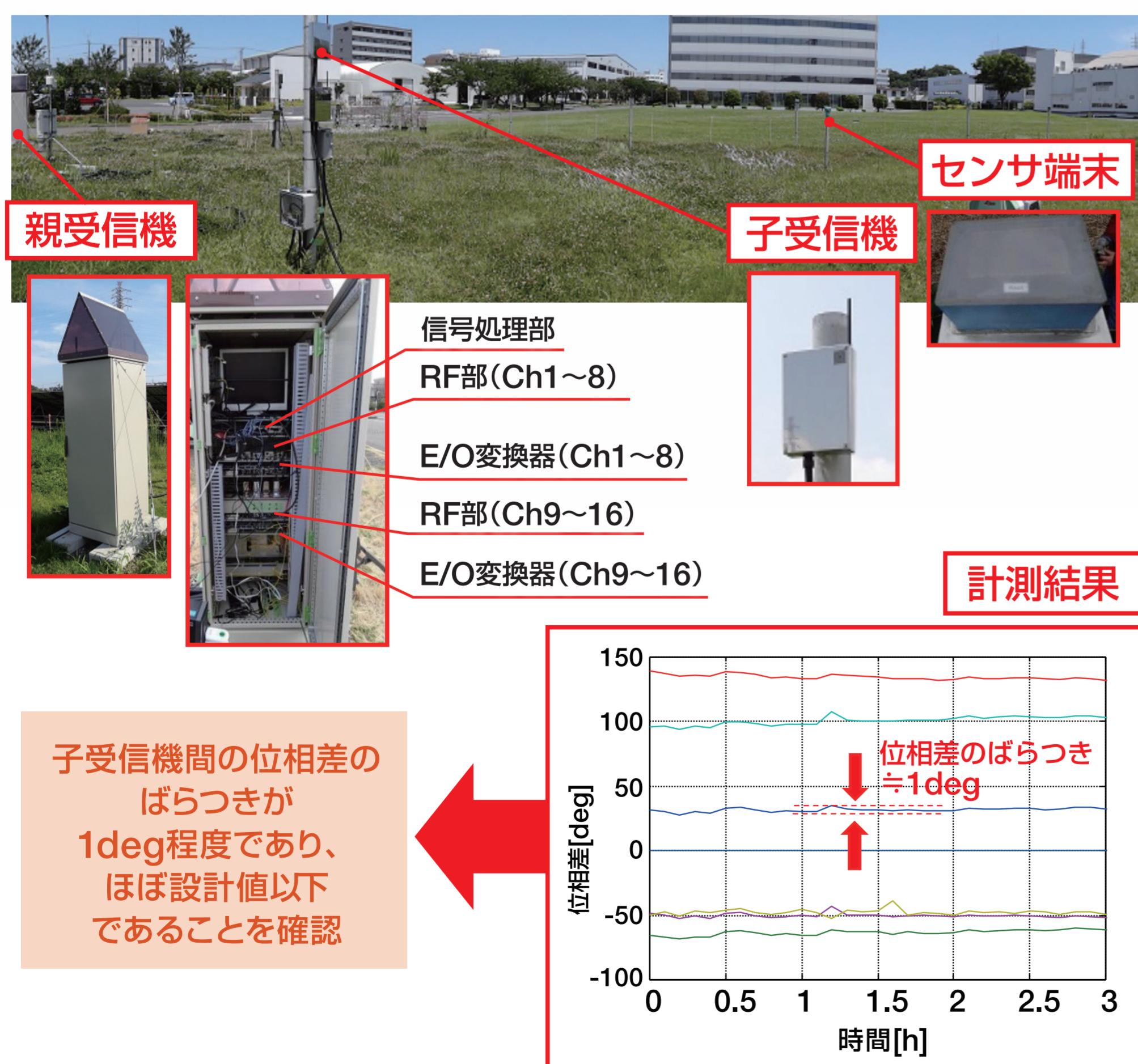


- センサ端末周辺の草木の影響が支配的であることが分かり、周囲1m程度離すことで変位計測誤差を大きく低減可能などを追加実験で確認



実証実験（H29～）向け試作機

- 実証実験用の試作機が完成し、高精度に位相差を計測できることを確認



実証実験

- 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



多種多様なセンサに対応するネットワーク通信基盤（1）

Network Communications Infrastructure Corresponding to Wide Variety of Sensors (1)

本研究の差異化ポイント

- ◆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

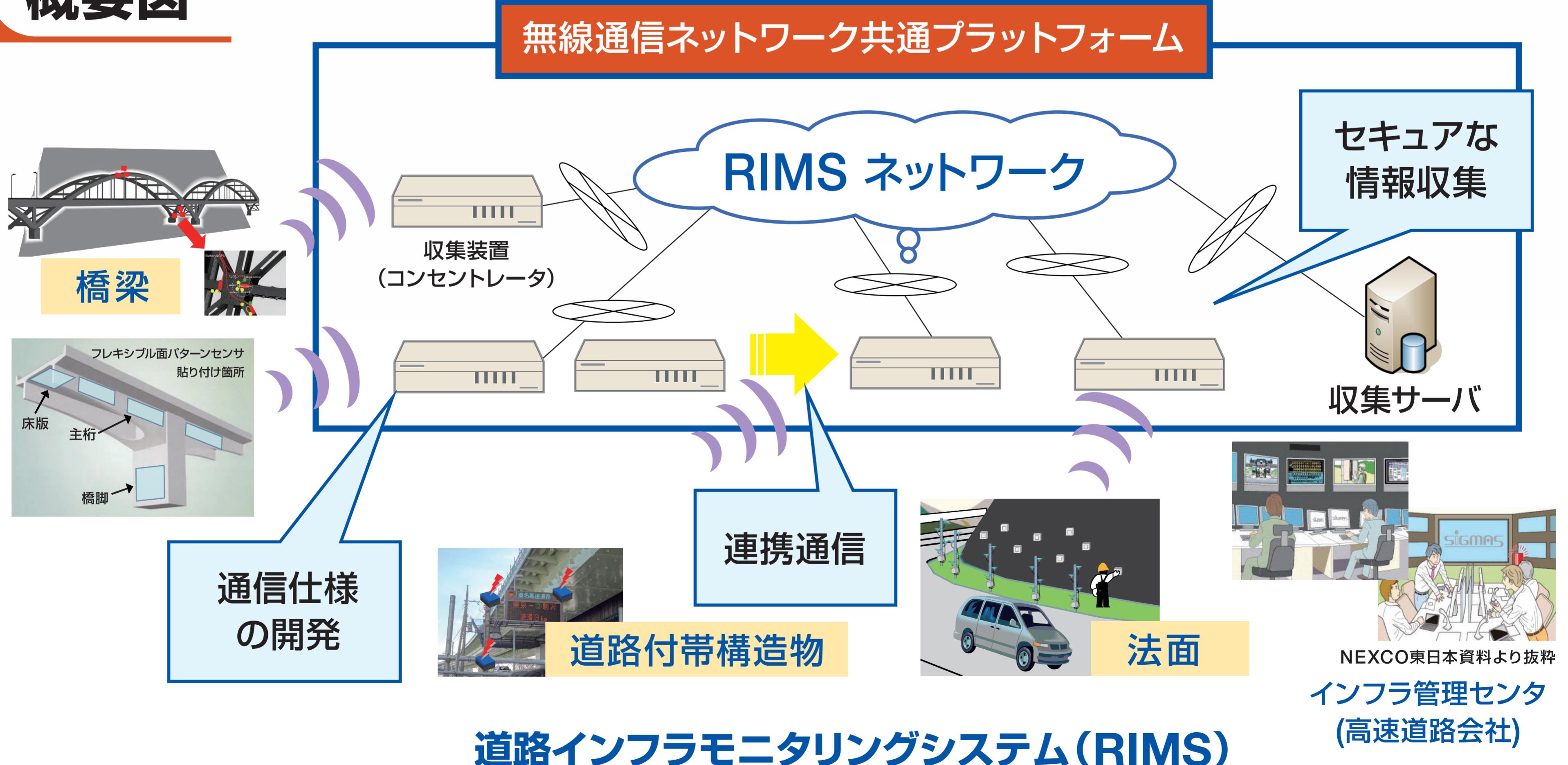
背景とねらい

■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、道路インフラに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が懸念事項

- データ収集の非効率
センサやモニタリングの開発や普及にあわせ、それぞれの独自方式にあわせた専用の機器及びシステムを構築する必要がある。
 - データ利用の非効率
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統合的に利用することが困難である。

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。差異の吸収はコンセントレータの通信仕様を開発することで実装する。

概要図



多種多様なセンサに対応するネットワーク通信基盤 (2)

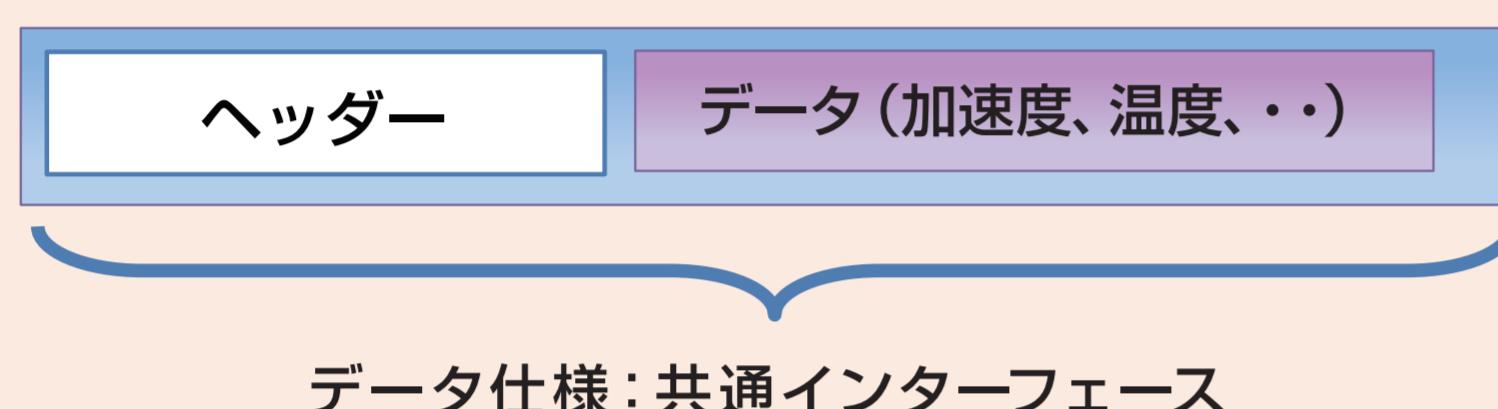
Network Communications Infrastructure Corresponding to Wide Variety of Sensors (2)

これまでの成果

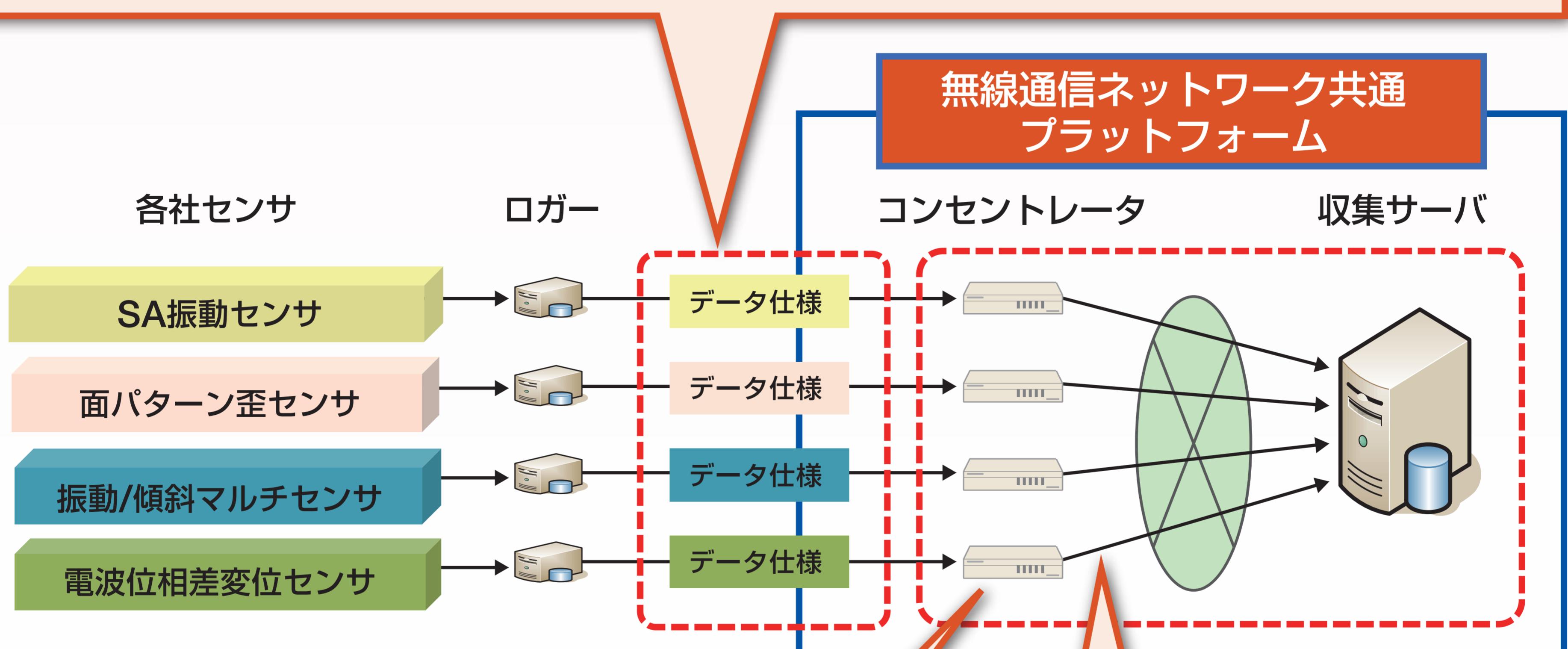
●道路インフラ(H26年~)

○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、収集サーバへ送信してデータ格納



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、対応が容易



○多種多様なセンサに対応するための通信仕様の開発

- ・センサ変更時等を想定し、センサデータにあわせた受信モジュールの遠隔変更ができるることを確認

○セキュアな情報収集

データは独自暗号化方式で通信を実施。内部モジュールの遠隔変更はSSL暗号方式で実施

●大規模インフラへの展開(H29年~)

○クラウドベースでの無線通信ネットワーク共通プラットフォームの構築

→大規模インフラモニタリングでの大量センサ設置を想定し、道路インフラで開発した各種機能をベースに処理性能と効率の向上について実証を行う。

道路インフラの環境ストレスに強いパッケージ（1）

Robust Package for Environment Stress of Road Infrastructure (1)

本研究の差異化ポイント

- ◆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
- ◆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
- ◆パッケージやセンサを構造物に強固に接着／接合するシート実装技術

背景とねらい

●高耐久性化

■自立型無線センサ端末の設置環境

- 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である。
- 道路インフラ及び大規模エネルギーインフラ事業者にとって、自立型無線センサ端末の寿命及び信頼性確保は重大関心事である。
 - ・インフラの寿命や点検サイクルに対してシステムの寿命が著しく短い場合は適用困難である。

■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

- 自立電源（太陽電池、振動発電、蓄電池、蓄電キャパシタ）、無線アンテナ、通信制御回路及びセンサ群をワンパッケージ化する。

■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

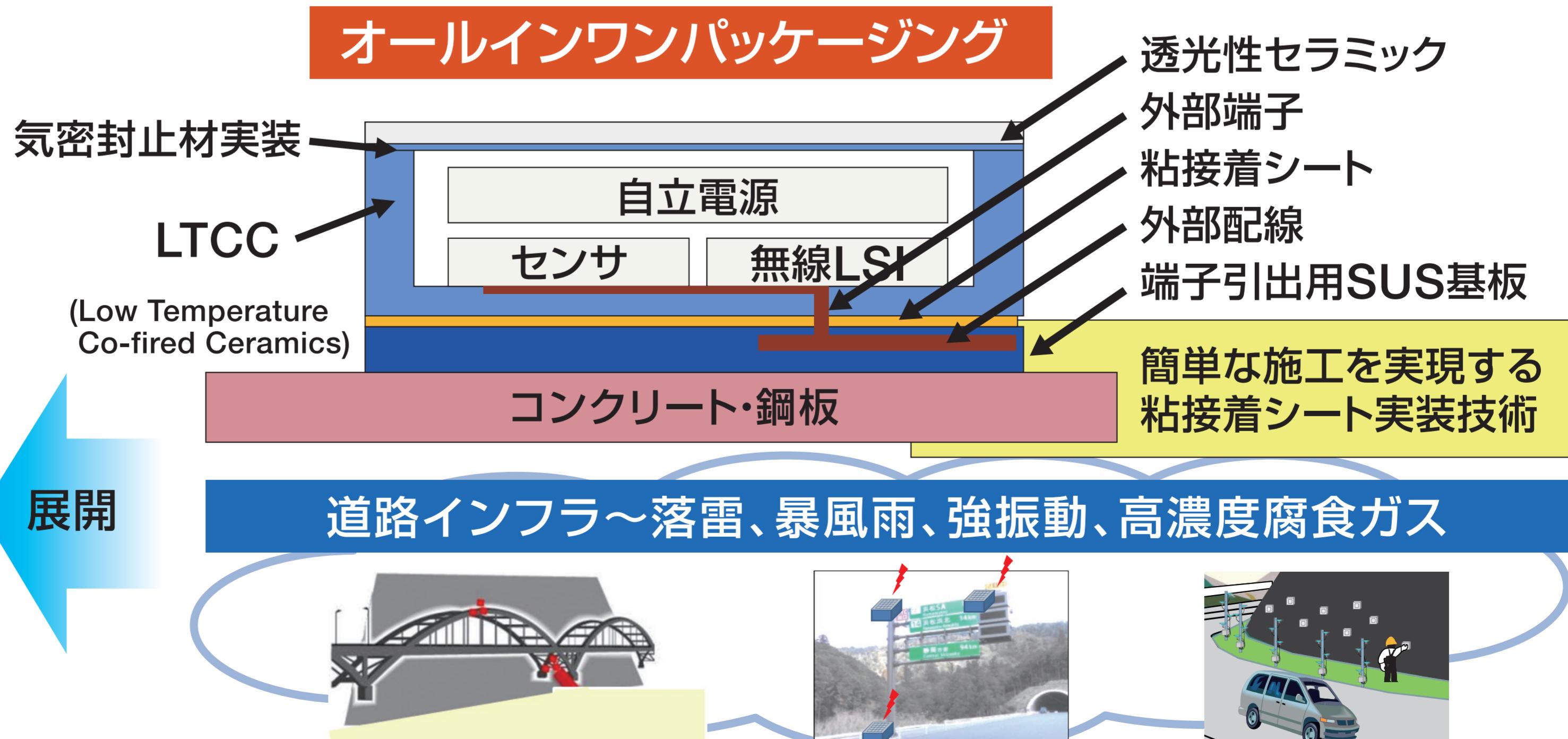
●簡単な取付け施工性

■センサ端末の設置作業負荷低減

- 各種センサ端末や多様な設置環境に対応した簡単施工が望まれる。

■長期の接着耐久性と簡単に貼り付け施工が可能な粘接着シートによる実装技術が必要

概要図



道路インフラの環境ストレスに強いパッケージ (2)

Robust Package for Environment Stress of Road Infrastructure (2)

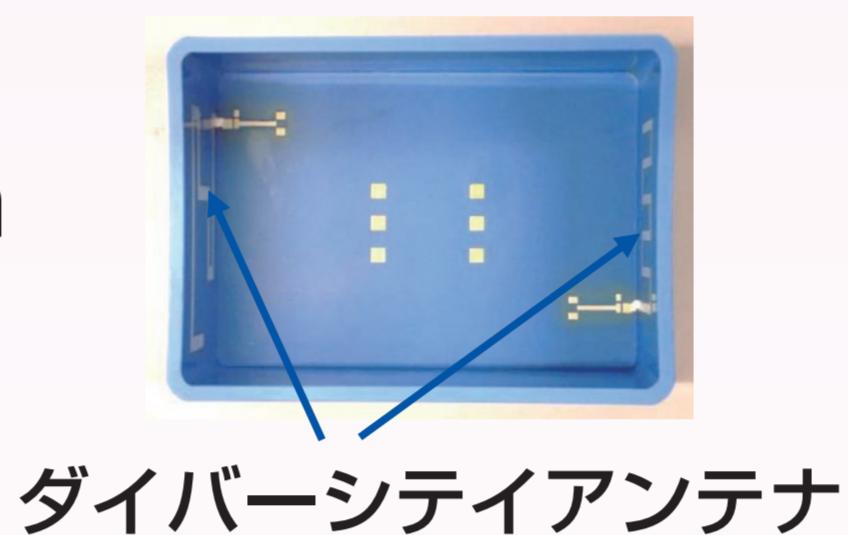
これまでの成果

●道路インフラ(H26年~)

アンテナ内蔵LTCC基板の開発

LTCCパッケージの大型化

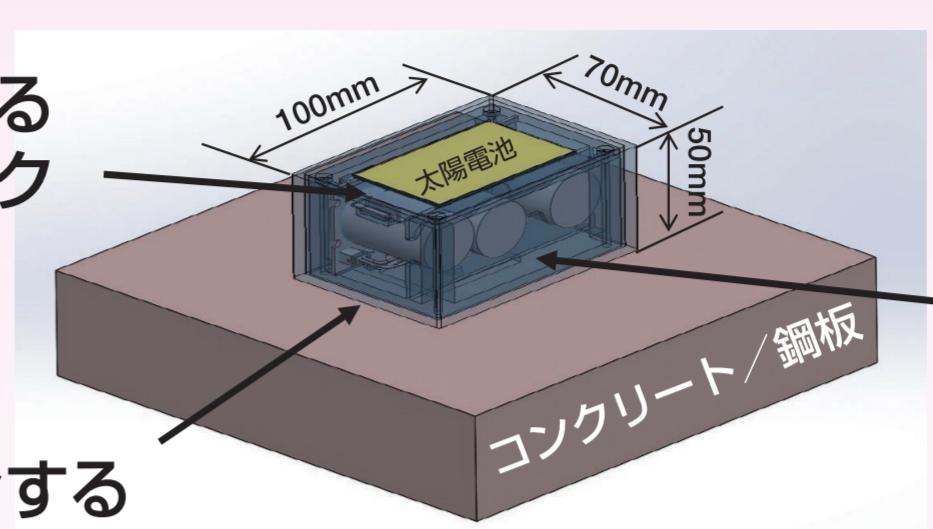
サイズ 100mm×70mm×50mm



本研究の耐久性パッケージ

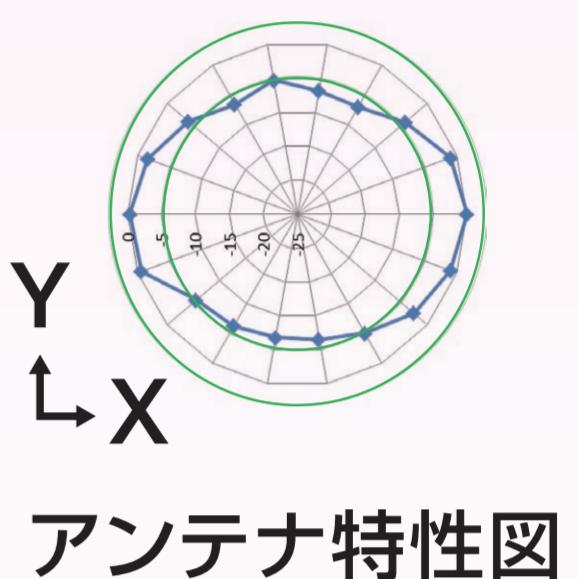
太陽光を透過するセラミック

強固接着/接合する簡易施工シート

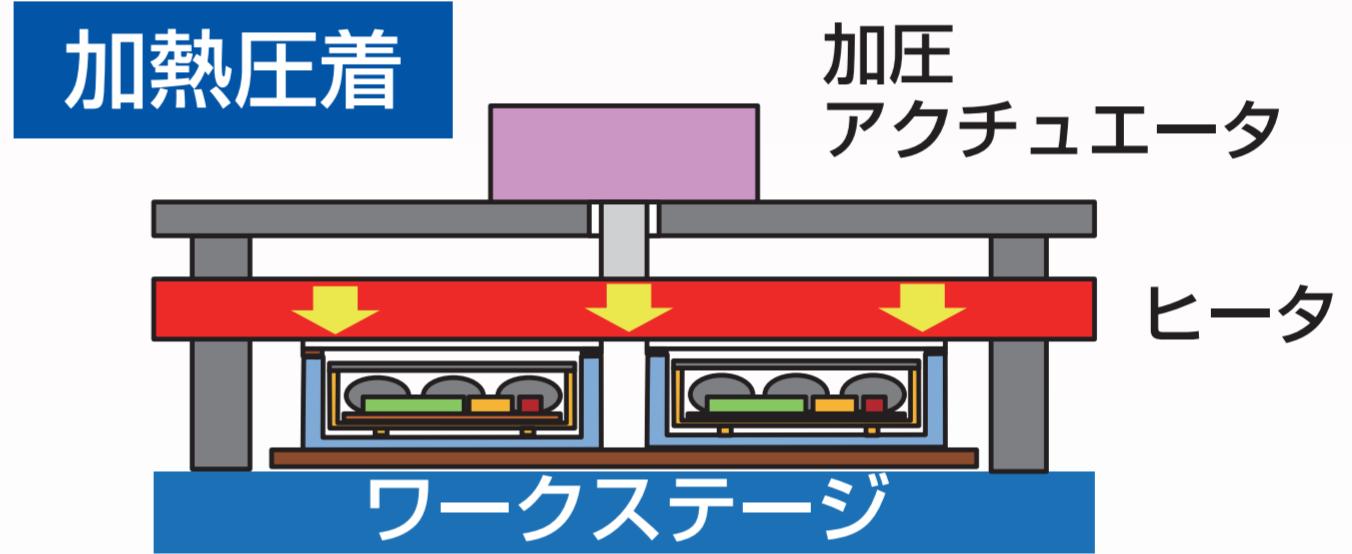
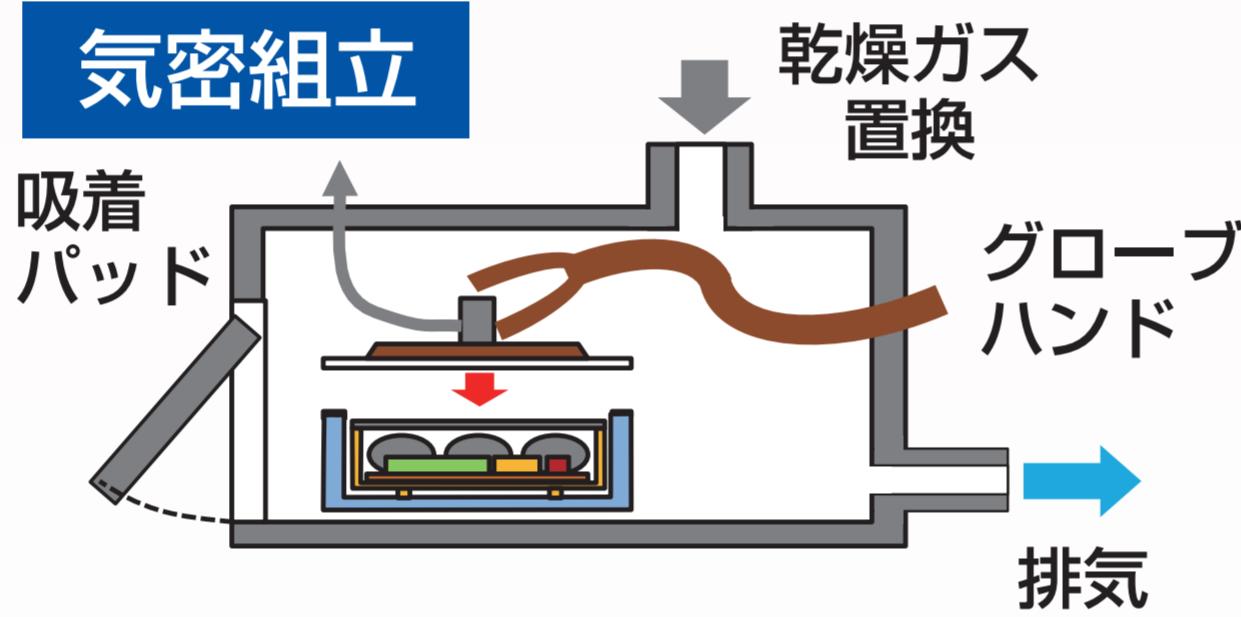
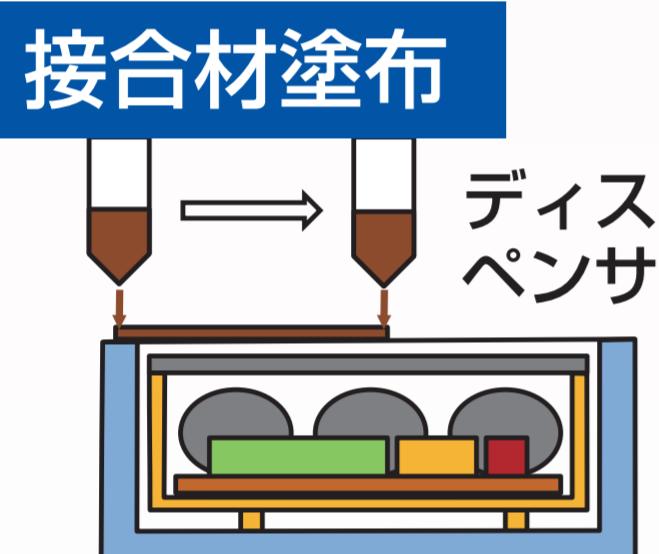


衝撃強度、電磁波伝導の良いセラミック

低指向性アンテナ

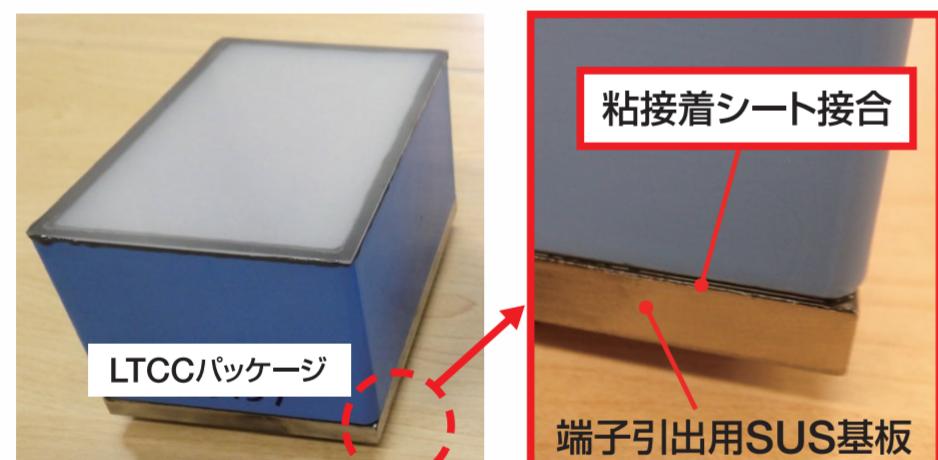
規格
Gain上限 +3dBi
Gain下限 -5dBi

封止工程の実用化(LTCC基板と透光性セラミック基板との接合封止)

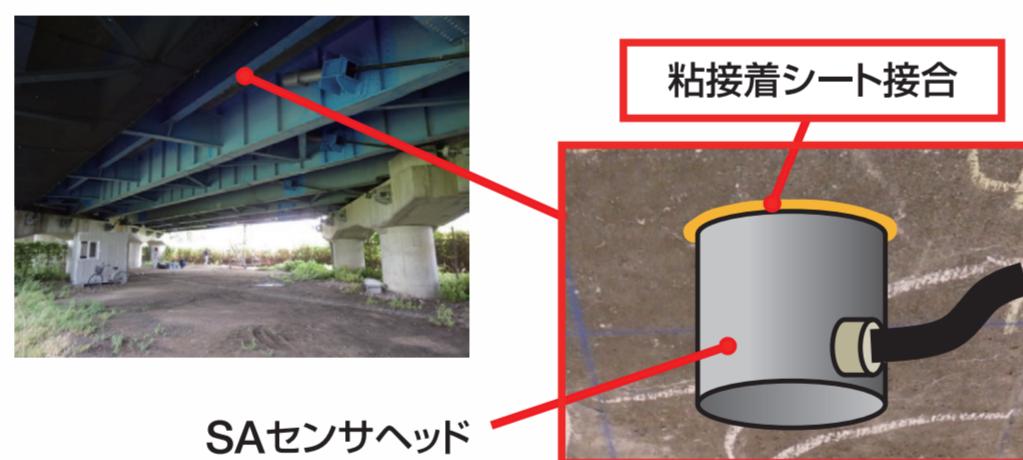


粘接着シートによる各種センサ端末貼り付け技術の開発

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)

加速試験規格を満足

PCT : Pressure Cooker Test
BPT : Black Panel Temperature

①PCT試験

110°C/85°C, 85%,
不飽和蒸気圧

②光照射試験

162W/m²,
BPT 63°C,
500hr

③低温試験

ヒートサイクル
-40°C~85°C,
200回

④塩水噴霧試験

NaCl 5% 2hr,
40°C, 93%,
7日間

⑤腐食ガス試験

40°C, 80%, SO₂
25ppm, NO₂
4ppm, 500hr

●大規模インフラへの展開(H29年~)

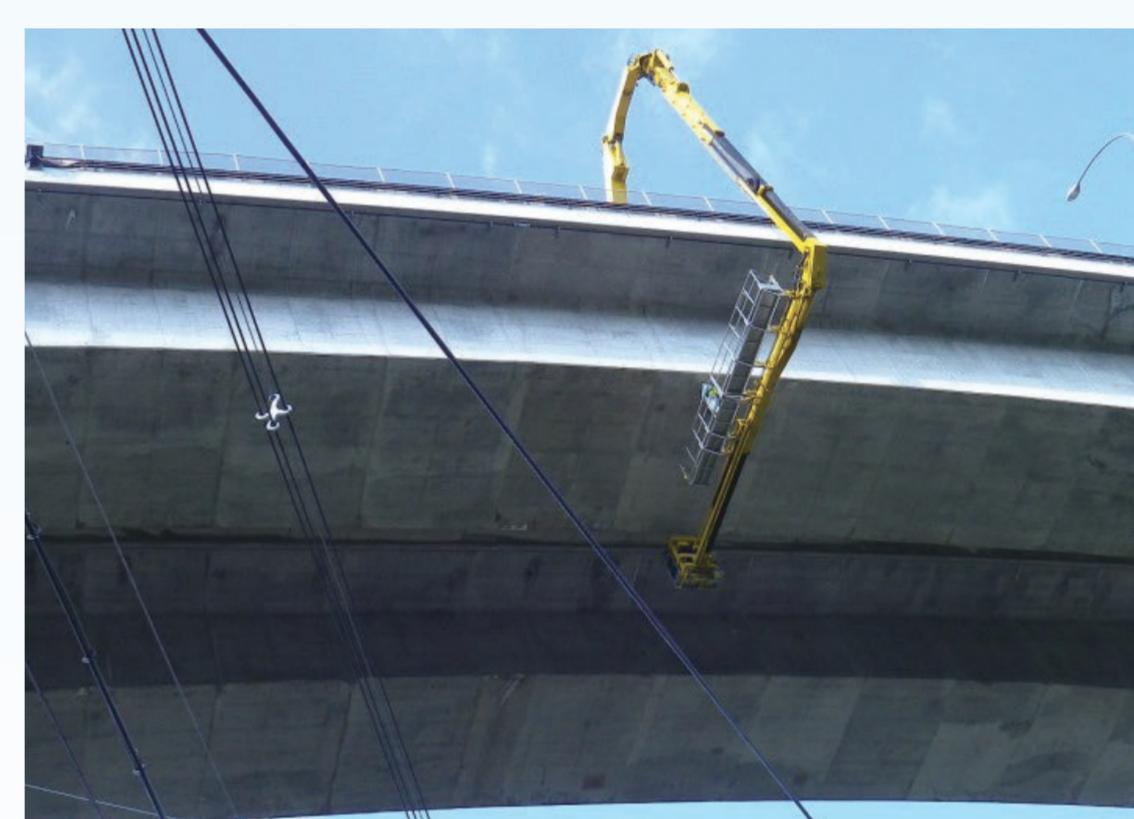
応用例: 水力発電斜面モニタリング

水力発電斜面に設置するモニタリング端末の長期信頼性を保証する高耐久性パッケージを開発する。

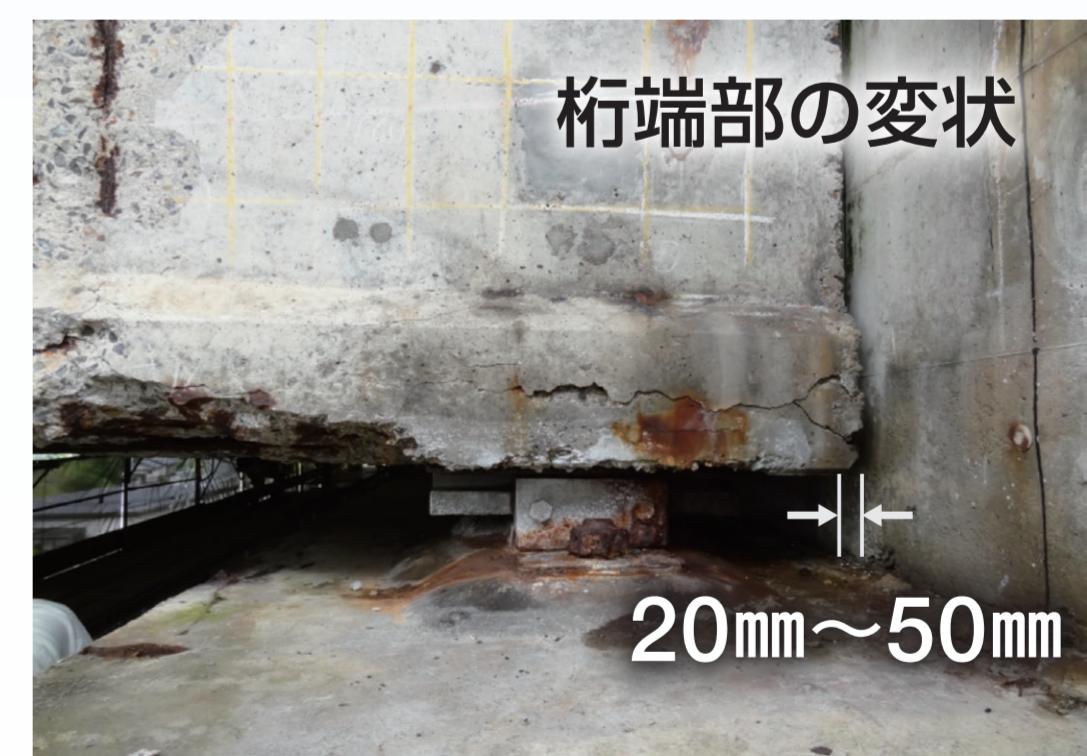
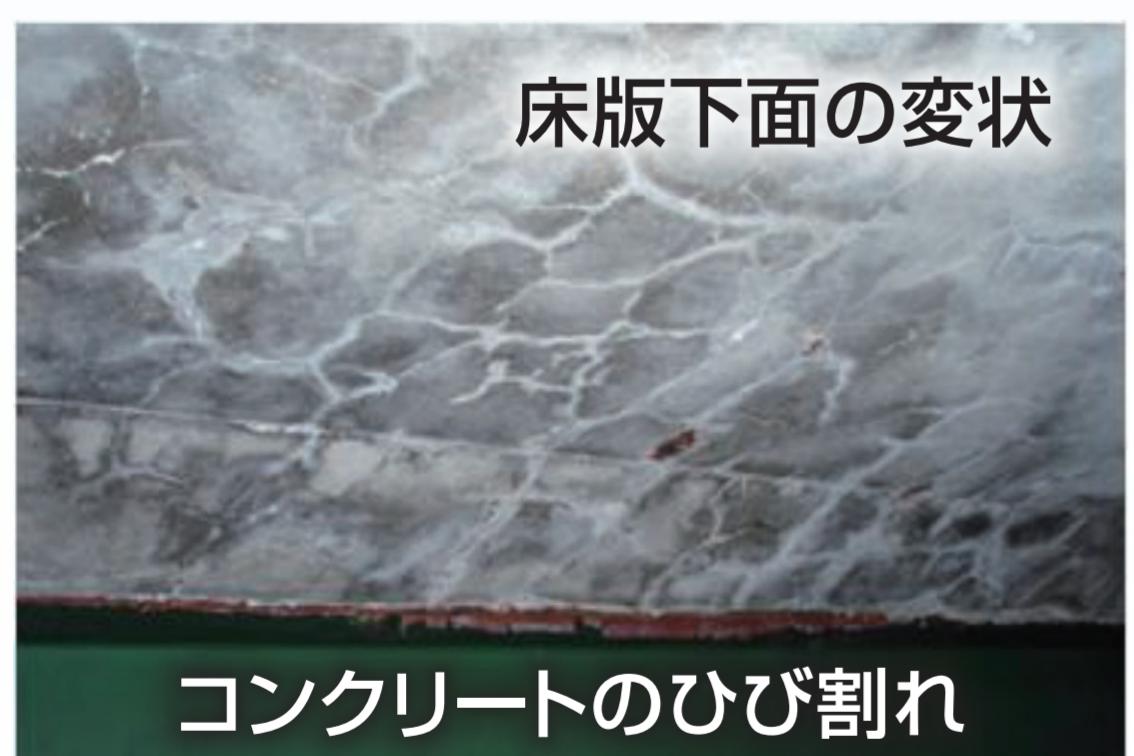
高速道路の橋梁点検

Bridge Inspection of the Expressway

点検の現状

検査路を用いた目視・打音点検	路下からの目視点検	路下から高所作業車を用いた点検
		
本線上から高所作業車を用いた点検	本線上から橋梁点検車を用いた点検(1)	本線上から橋梁点検車を用いた点検(2)
		

変状事例



高速道路ののり面点検

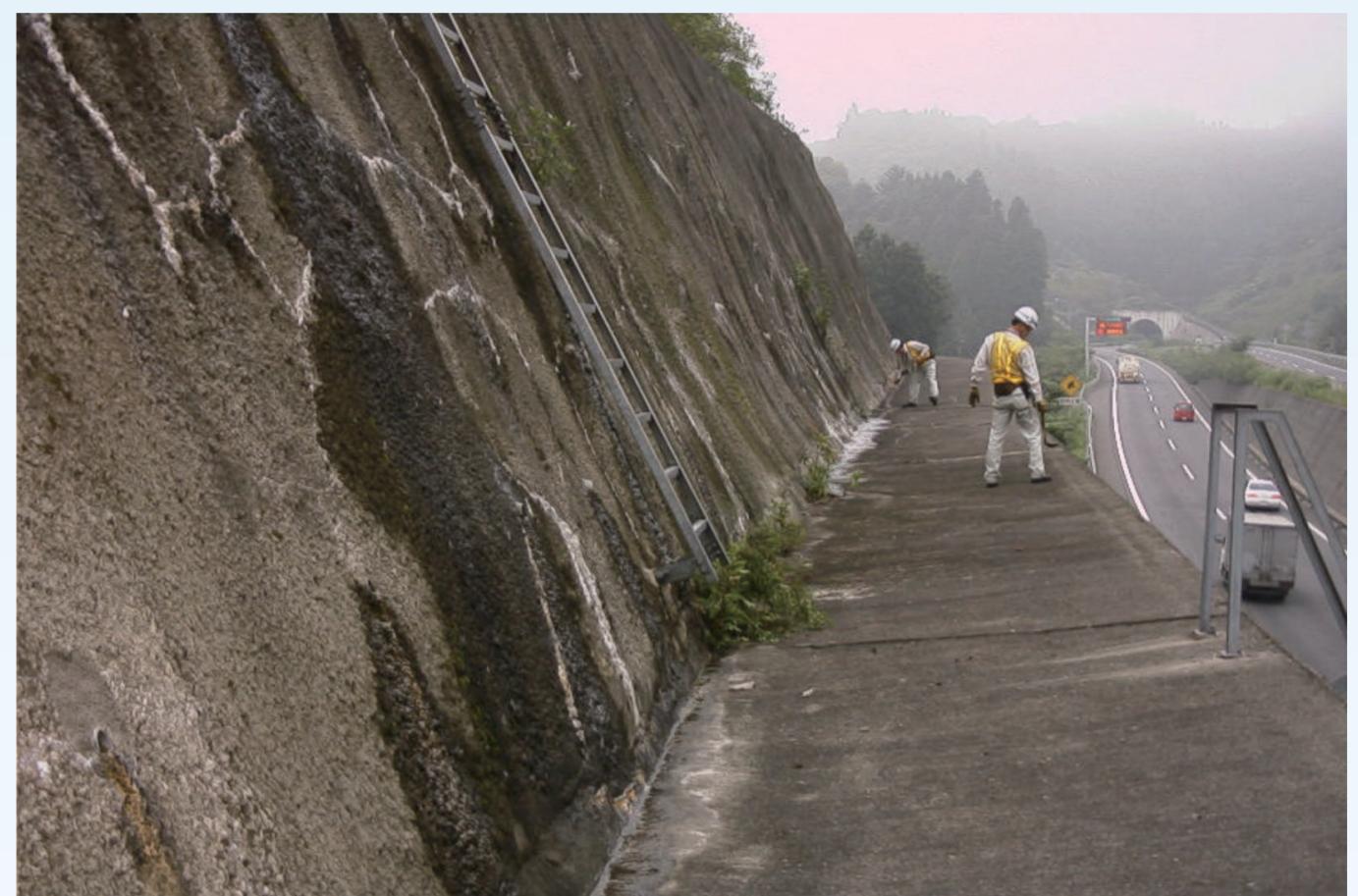
Slope Inspection of the Expressway

点検の現状

切土のり面のり枠、グラウンドアンカーの目視点検



のり面小段部からの目視点検



切土のり面の点検



のり面勾配の調査



盛土のり面の目視点検



変状事例

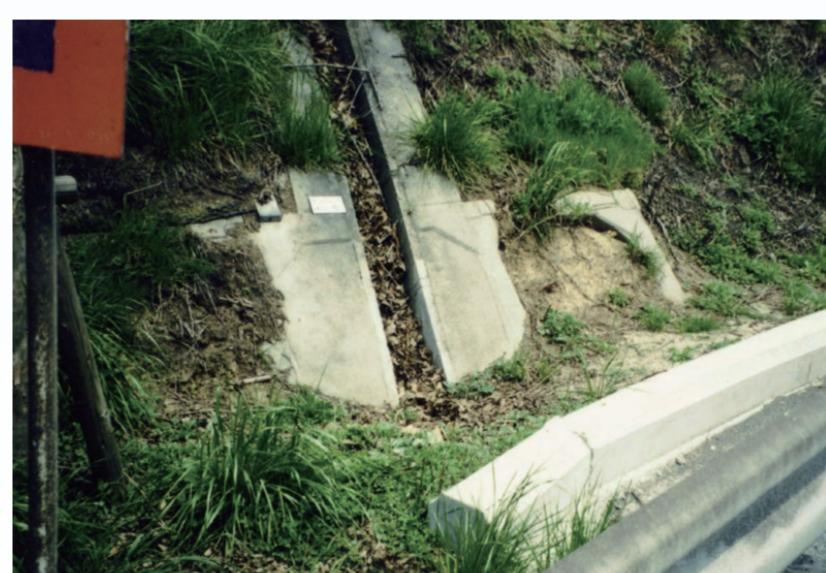
切土のり面の倒木



のり尻部からの湧水



排水溝に土砂等が堆積



コンクリートブロック積のひび割れ、ずれ



切土のり面のグラウンドアンカーの突出



のり面保護工原地盤の沈下



盛土のり面の崩落



高速道路の附帯設備点検

Inspection of Expressway Equipment

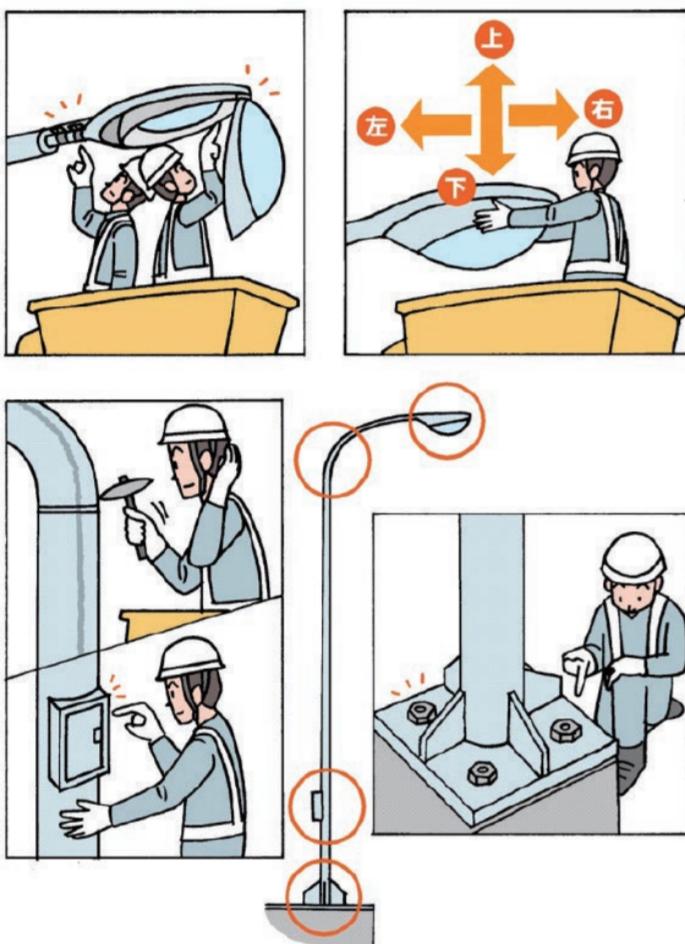
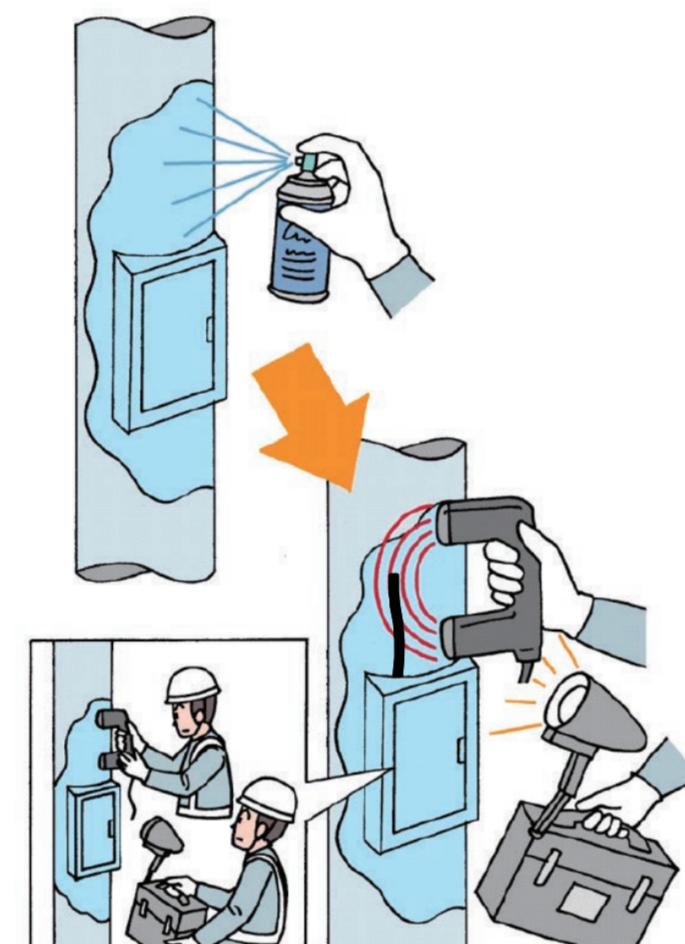
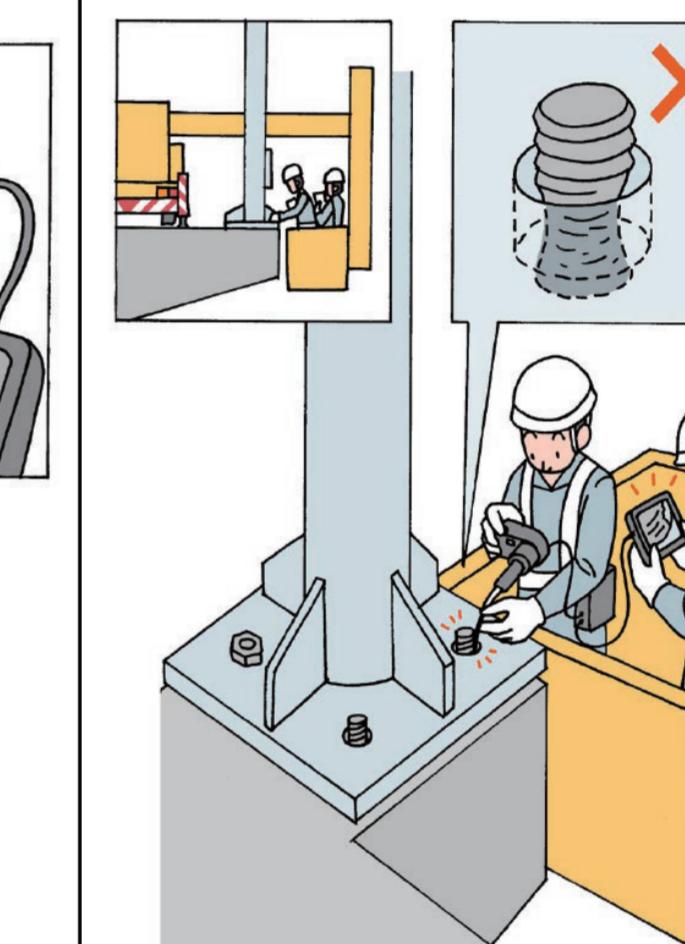
点検の現状



トンネル換気設備の構造検査



照明設備の構造検査

近接目視	磁粉探傷試験	超音波厚さ測定	ファイバースコープ
◇道路照明設備の支柱、灯具の構造検査を、目視、触手、簡単な計器を用いて行うものである	◇道路照明設備の支柱の構造検査を、磁粉探傷器を用いて行うものである	◇道路照明設備の支柱の構造検査を、超音波厚さ計を用いて行うものである	◇道路照明設備の基礎の構造検査を、ファイバースコープを用いて行うものである
 <ul style="list-style-type: none"> ●支柱・基礎・灯具の発錆し腐食しやすい部分(アダプター部、メカニカルジョイント部、開口部、地際部等)の検査 ●ガタつき、損傷、腐食等を五感、ハンマー等で確認 	 <ul style="list-style-type: none"> ●支柱の亀裂・損傷等が発生しやすい部分(アダプター部、メカニカルジョイント部、開口部、地際部等)の検査 ●磁粉探傷装置で亀裂・損傷等を検査(検査部にスプレーで磁粉を塗布し、ブラックライトをあてながら磁界を発生させる装置をあてがうと、亀裂等の溝がある場合はその部分が浮かび上がって見える) 	 <ul style="list-style-type: none"> ●支柱の亀裂・損傷等が発生しやすい部分(アダプター部、メカニカルジョイント部、開口部、地際部等)の検査 ●超音波厚さ計で材料の厚さを検査(厚さが数値で表示される) 	 <ul style="list-style-type: none"> ●地際部(アンカーボルト等)の検査 ●ファイバースコープでボルトの太さ等内部の欠損・腐食状況を検査

詳細点検状況 ~ (例) 道路照明設備~

劣化事例



点検口下部に母材の腐食が見られる



取付け用アンカーボルトの腐食、減肉化

モニタリングシステムを革新する原子時計(1)

Atomic Clock Leading to Innovation of Monitoring System (1)

本研究の差異化ポイント

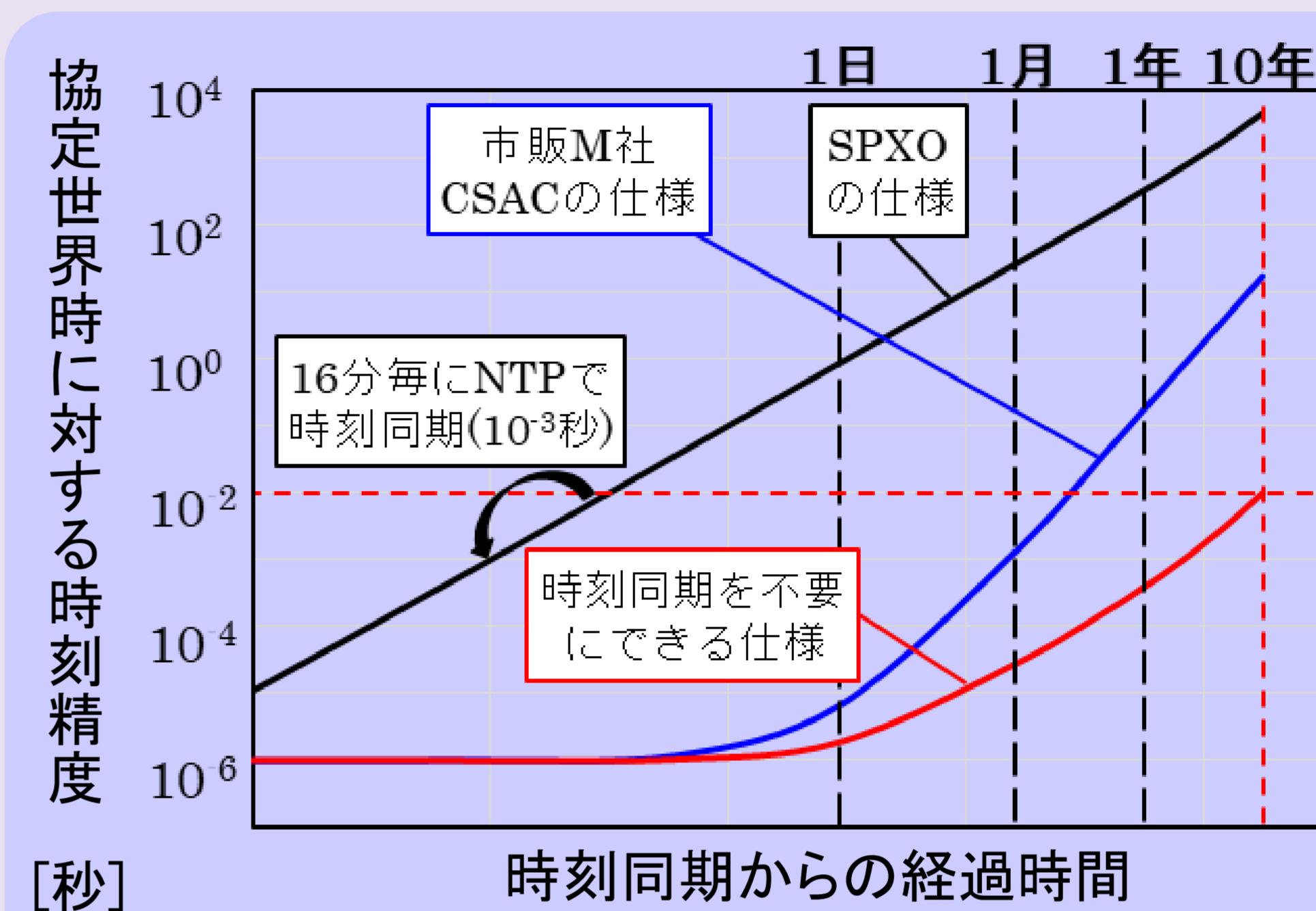
- ◆原子時計の小型化と時刻精度向上を両立するガスセル内環境制御技術
- ◆原子時計内外の環境観測データを基にした基準周波数補正技術
- ◆時刻同期が不要な原子時計を組み込んだセンサ端末によるモニタリング

背景とねらい

■データ間の時刻整合性での課題

橋梁や法面、道路付帯物など各フィールドからのデータを統合して分析するには、データ間の時刻の整合性が重要となる。各データに付与する時刻精度は、センサ端末などに組込んだ時計間の同期精度で決まり、設置環境や天候で変化する電波状況に依存するため、システム構築には多大なノウハウが必要となっている。

センサ端末に組込可能な小型で低消費電力な原子時計を開発することで、時刻同期を不要としたモニタリングシステムを実現し、システム構築の労力を大幅に削減する。



時刻同期を不要とする時計の仕様

SPXO : Simple Packaged Crystal Oscillator

CSAC : Chip Scale Atomic Clock

ULPAC : Ultra-Low Power Atomic Clock

NTP : Network Time Protocol

概要図

時刻精度と消費電力を両立した小型原子時計

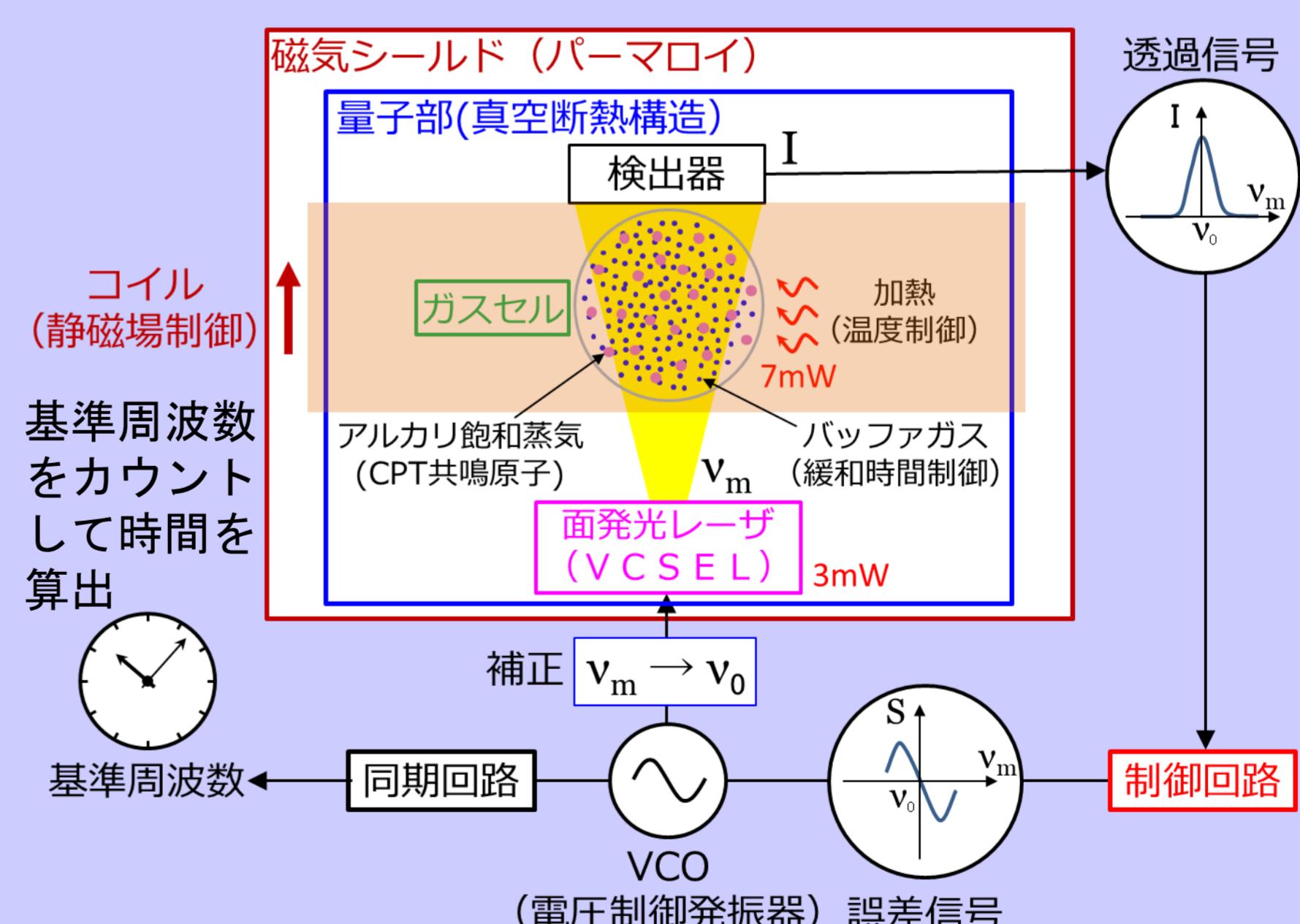
■時刻の高精度化

- 1) 混合バッファガス(温度依存性の低減)
- 2) 真空内のガスセル中空保持(熱の移動低減)
- 3) 低透過率ガスセル(バッファガス圧変動抑制)
- 4) VCSELエージング処理(光強度の変動抑制
→ ライトシフト低減)
- 5) ガスセル内静磁場制御(磁気シールド+磁場生成コイル → ゼーマンシフト固定)
- 6) 環境温度を基にした基準周波数の補正
- 7) デュアルガスによるバッファガス圧の可観測化
と、それを基にした基準周波数の補正

■低消費電力化

- 8) 低消費電力と低位相雑音を両立したCMOS集積化PLL回路
- 9) 小型ガスセル: $2 \times 2 \times 2 \text{mm}^3$ (内 $1.4 \times 1.4 \times 1.4 \text{mm}^3$)

アルカリ原子固有のCPT共鳴の周波数を利用して、高精度な周波数を作り出す仕組み

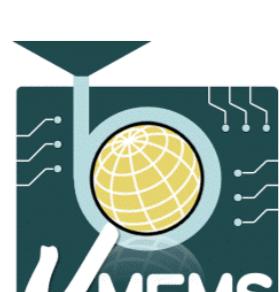


センサ端末同期用原子時計(ULPAC)

CPT : Coherent Population Trapping

PLL : Phase Locked Loop

VCSEL : Vertical Cavity Surface Emitting Laser



技術研究組合
NMEMS技術研究機構

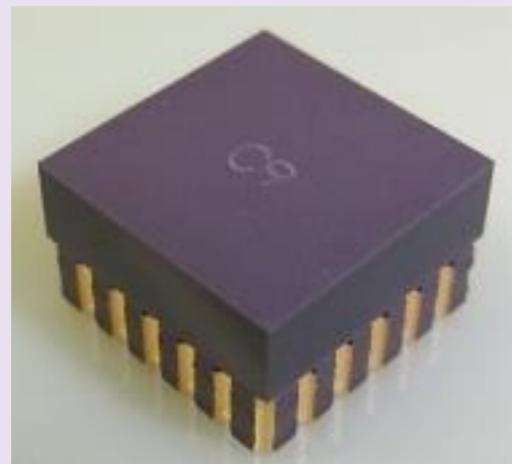
本研究(の一部)は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の委託業務の結果得られたものです。

モニタリングシステムを革新する原子時計(2)

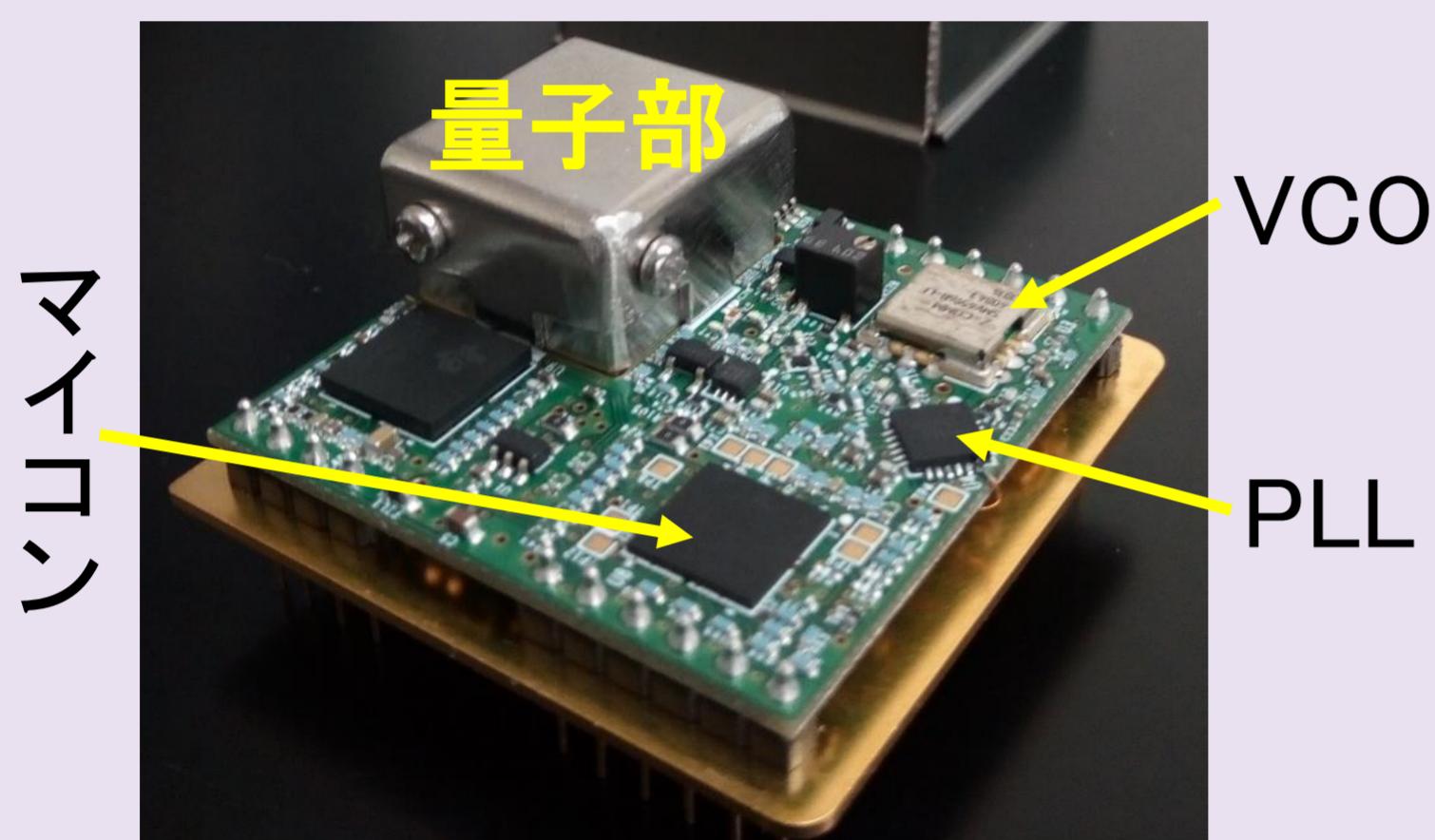
Atomic Clock Leading to Innovation of Monitoring System (2)

これまでの成果(H27年~)

■ガスセルの小型化と量子部の真空封止による原子時計の小型・低消費電力化

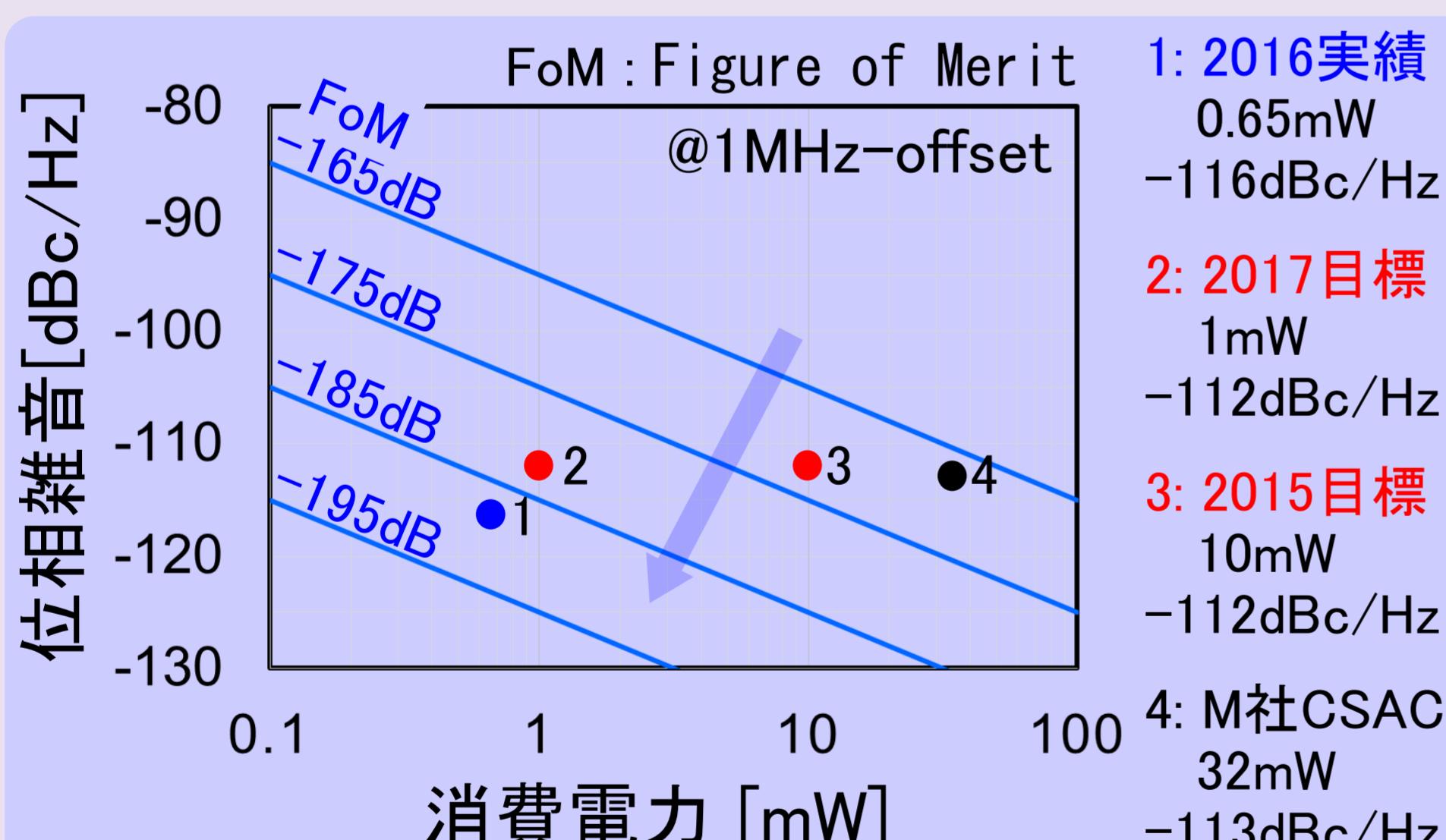


真空断熱型量子部
(11 × 11 × 5mm³)

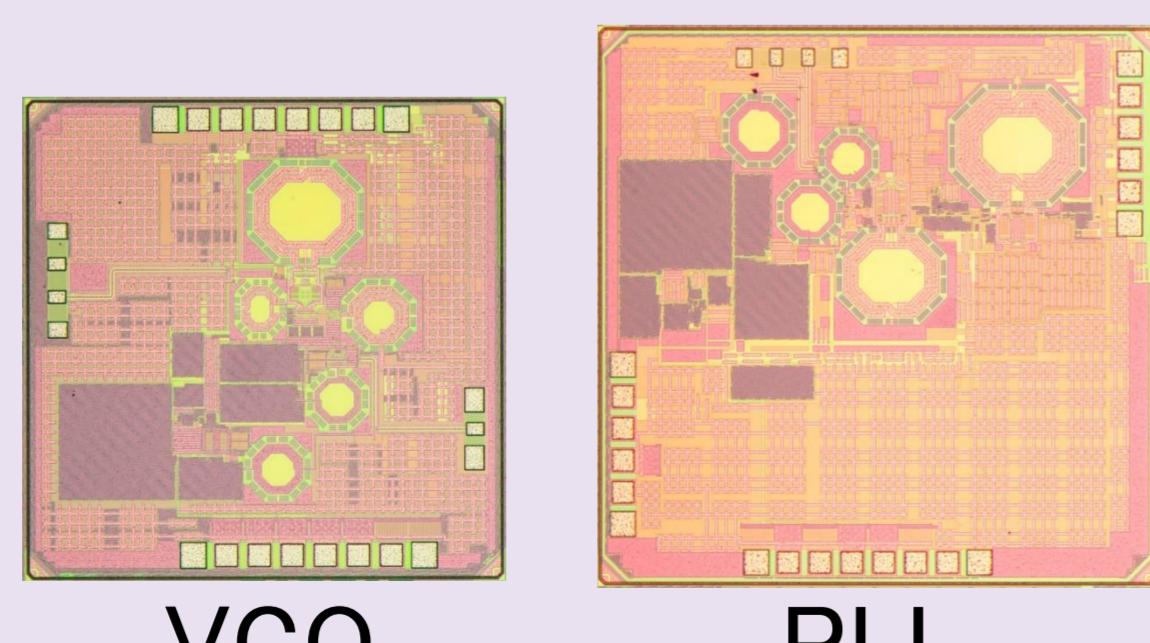


H28年度ULPACプロトタイプ
内部構造 (40 × 40 × 18mm³)

■低消費電力と低位相雑音を両立したCMOS集積化PLL回路



消費電力を
大幅に削減

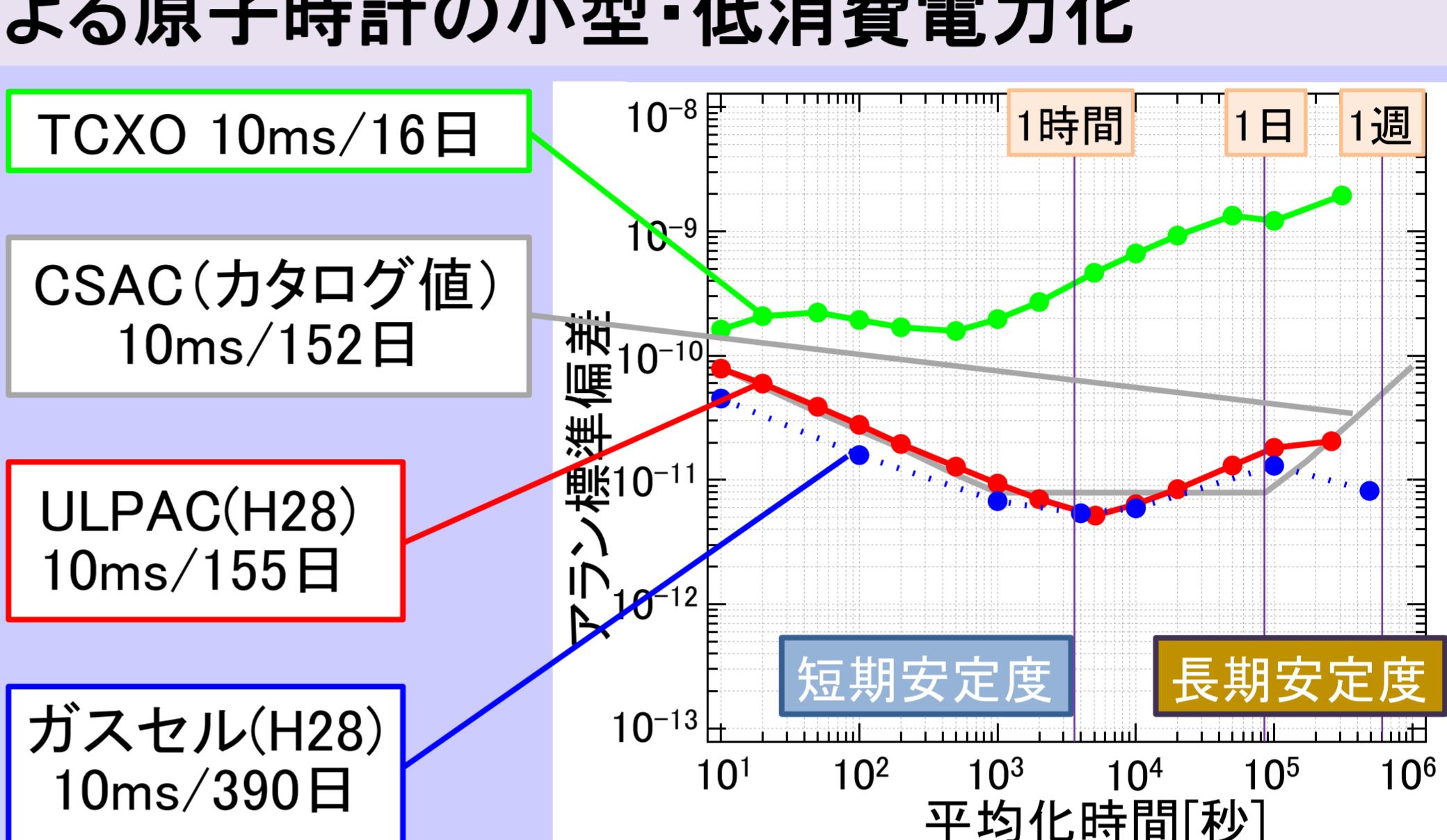


CMOS集積化回路(実装サイズ:3mm角)

TCXO : Temperature Compensated Crystal Oscillator

VCO : Voltage-Controlled Oscillator

PLL : Phase Locked Loop

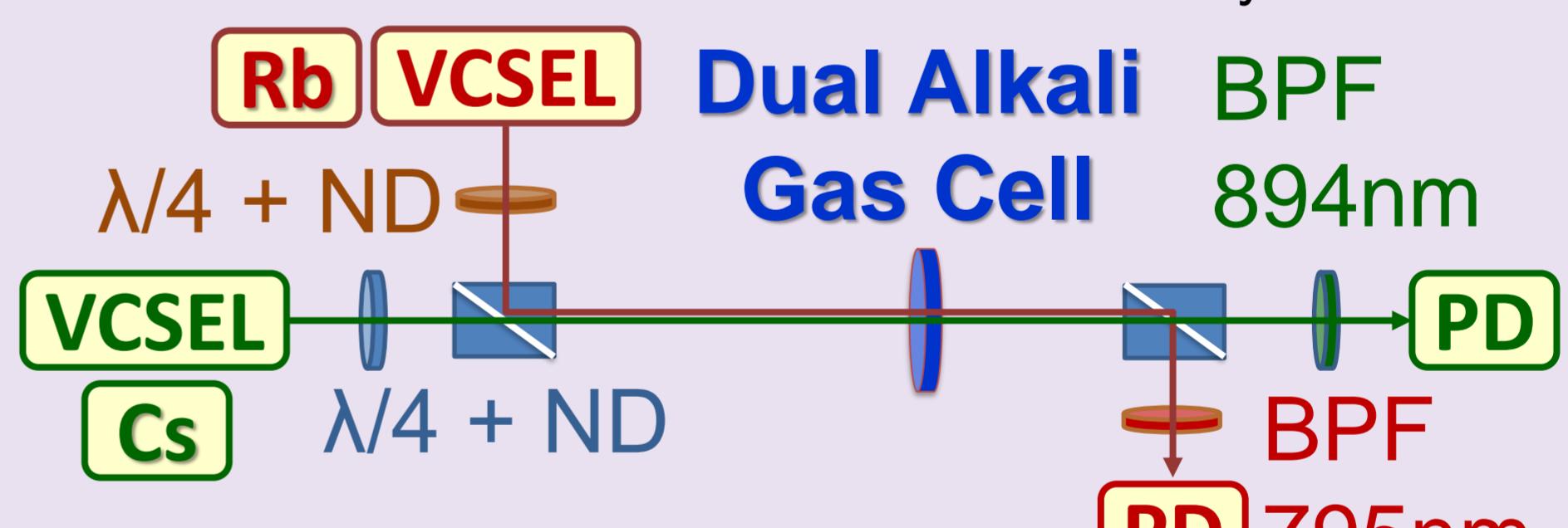


ULPACプロトタイプの開発目標

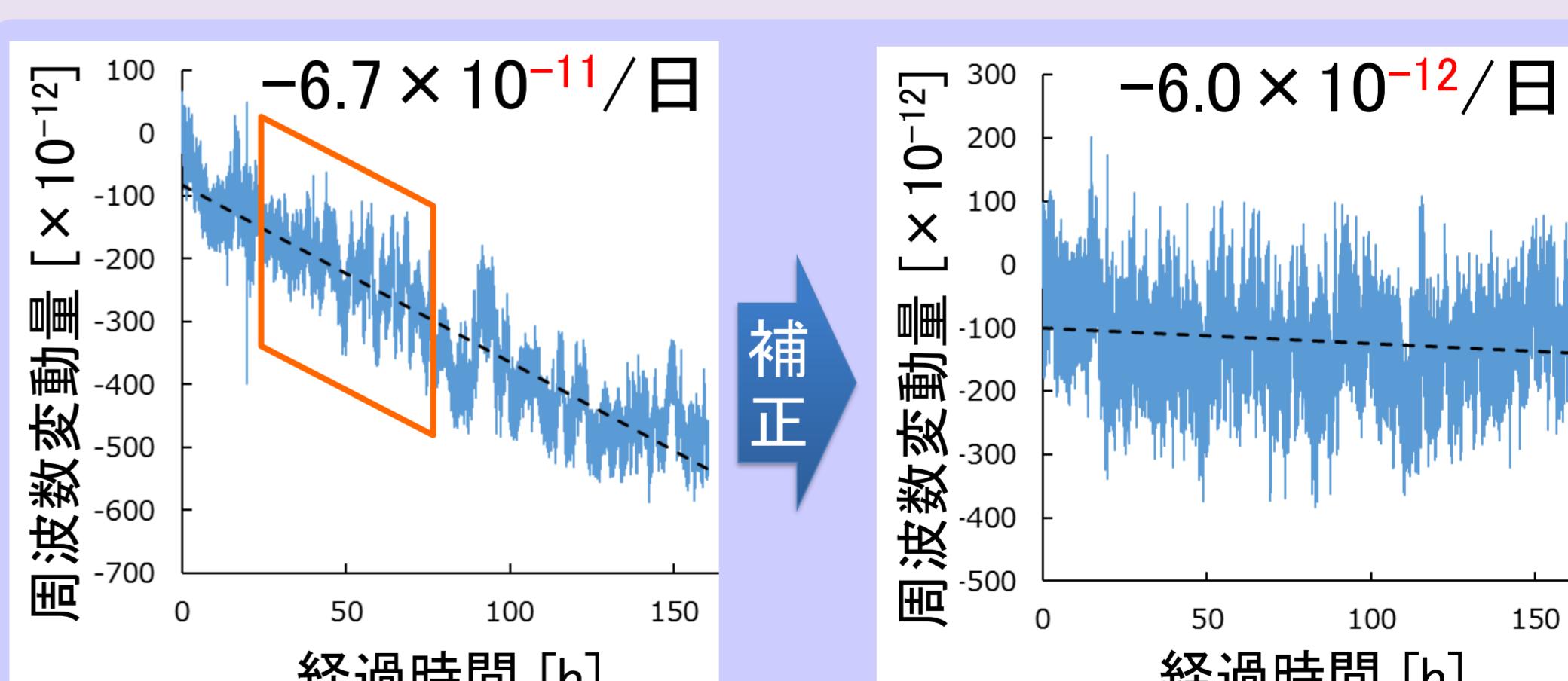
	H28年度	H29年度	H30年度
時刻精度	10ms/6ヶ月	10ms/8ヶ月	10ms/12ヶ月
消費電力	120mW	90mW	60mW
サイズ	40 × 40 × 18 mm ³	40 × 35 × 11 mm ³	30 × 30 × 11 mm ³

■デュアルガス補正

BPF : Band-Pass Filter
ND : Neutral Density

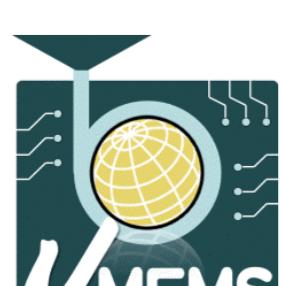


デュアルガス補正システムの構成



2日間の2周波数変動データからパラメータを
求め、Cs全体を補正

11倍向上



技術研究組合
NMEMS技術研究機構

本研究(の一部)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ものです。