

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

- ◆新規開発の小型・低価格・革新的機能センサによるモニタリング
- ◆道路インフラ（橋梁、道路付帯構造物、法面）を一元管理
- ◆高速道路で技術を高め、一般道へ将来展開

背景とねらい

● 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

・ 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

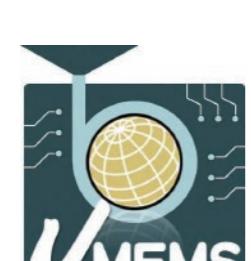
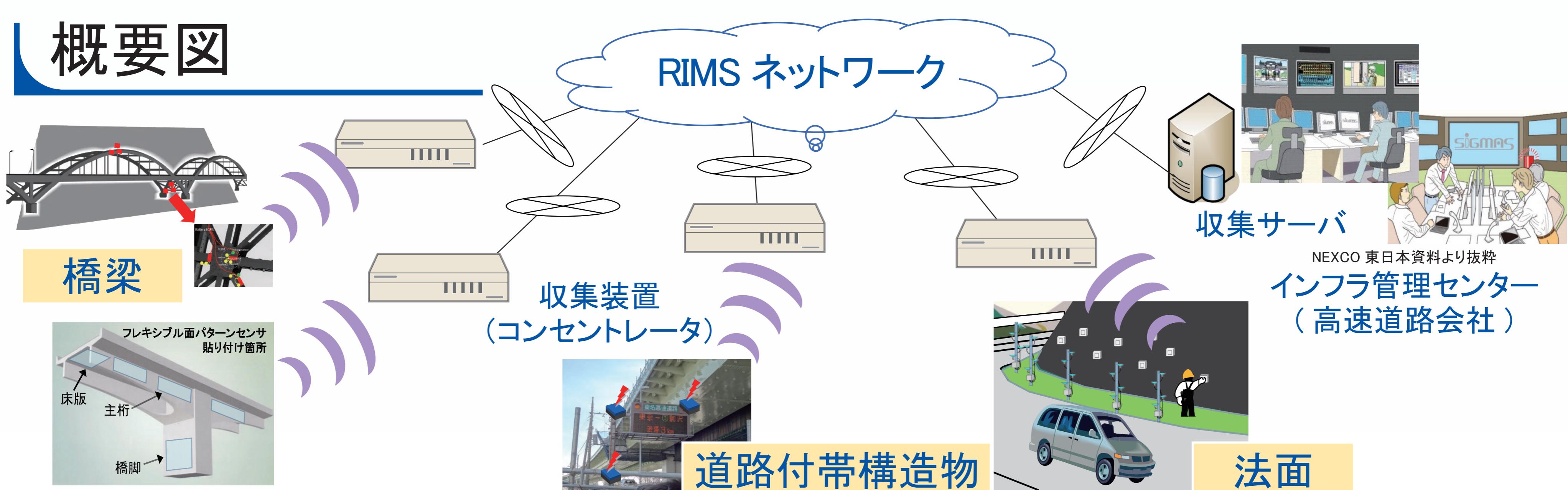
● 法面：

■ 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

概要図



技術研究組合
NMEMS 技術研究機構



国立研究開発法人
新エネルギー・産業技術総合開発機構

RIMS(Road Infrastructure Monitoring System)の研究開発体制

Research and Development System of RIMS

体制と役割分担

(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
(ひずみ)
(産総研、大日本印刷)

(1-2) 道路付帯構造物 (情報板等)

(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)

(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)

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 熊

(技)NMEMS技術研究機構

インフラモニタリング研究所

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

本部

技術開発推進室

委員会

知的財産権委員会

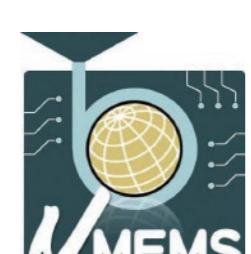
社会インフラ分科会

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



技術研究組合
NMEMS 技術研究機構



国立研究開発法人
新エネルギー・産業技術総合開発機構

RIMS の開発スケジュールと今後の展開

RIMS Today and Future

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)					
(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)		3年で新規センサ・センシングシステムを完成			
(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		共通プラットフォームの完成			
(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		予備実証実験			
(4) センサ端末同期用原子時計の研究開発					

「センサシステム・共通プラットフォーム開発完
および「予備実証実験完」

実証評価及び
実用化研究

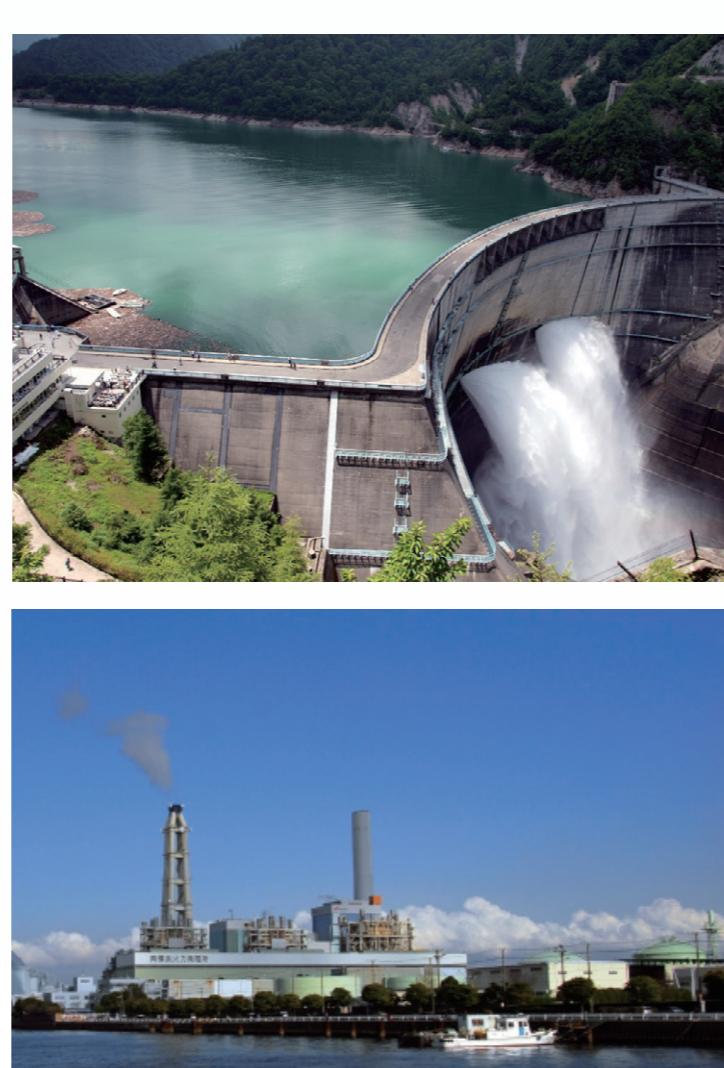
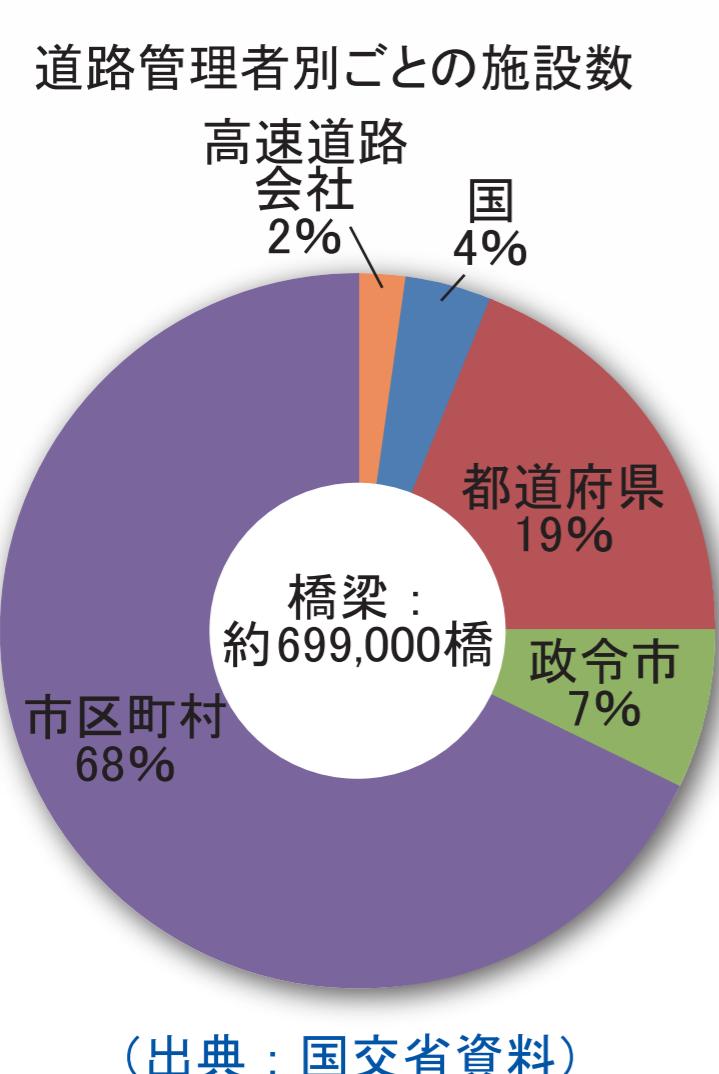
実証評価及び
データベース構築

本格実証・データ蓄積

将来技術フィジビリティ検証

今後の展開

- ◆国、地方公共団体管理道路への展開
- ◆他の社会インフラ(エネルギー関連施設、鉄道、港湾施設等)への展開
- ◆海外事業展開



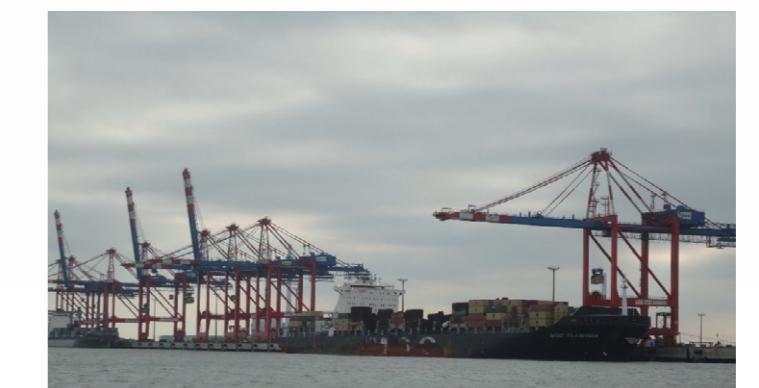
エネルギー関連施設



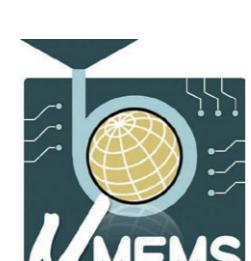
エネルギー関連施設



鉄道



港湾施設



技術研究組合
NMEMS 技術研究機構



国立研究開発法人
新エネルギー・産業技術総合開発機構

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

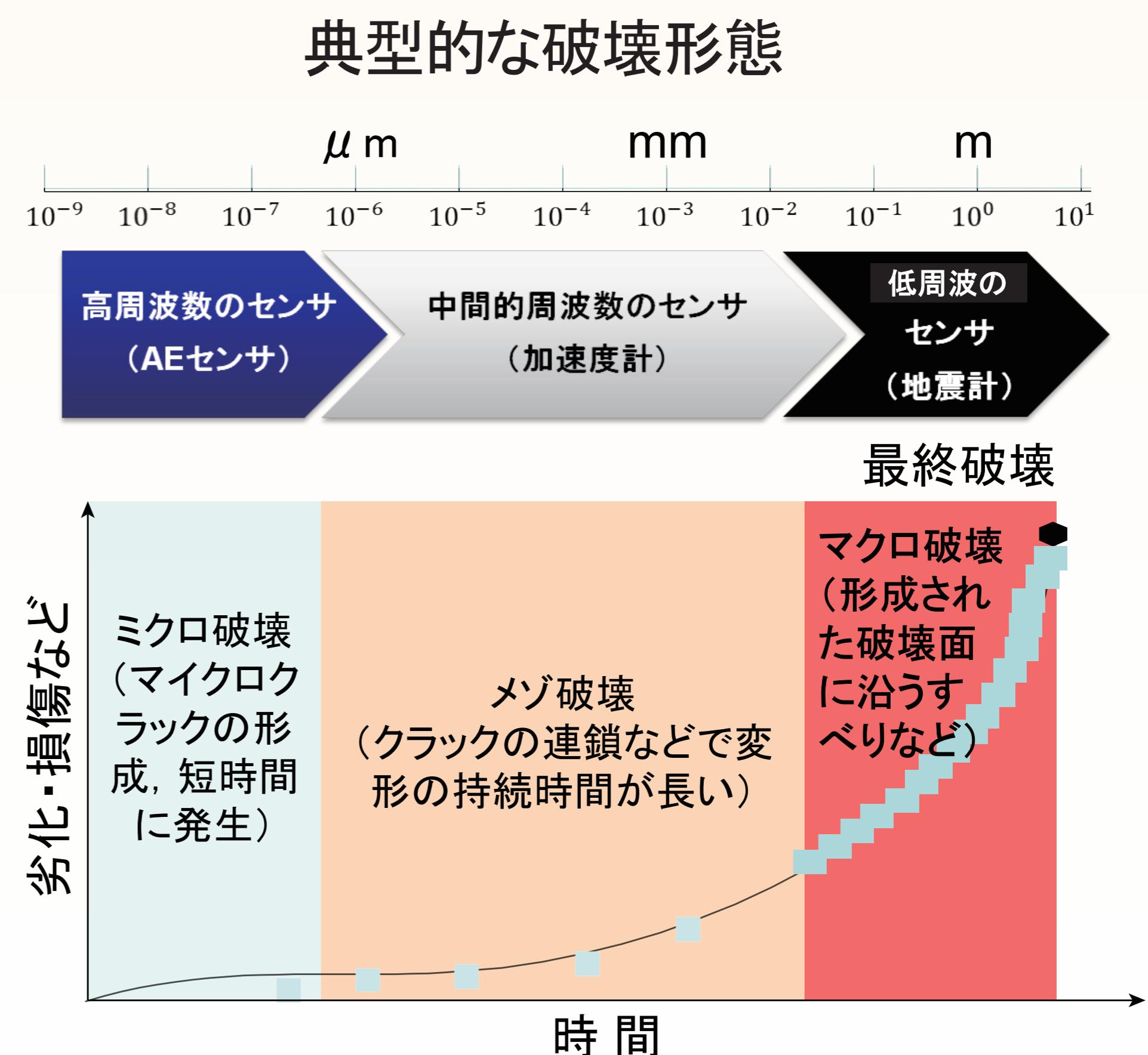
- ◆超広帯域振動センサ(SA:スーパー・アコースティックセンサ)の開発
- ◆橋梁の健全状態から限界劣化までを1つのセンサでカバー
- ◆手のひらサイズの無線センサ端末により遠隔監視

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

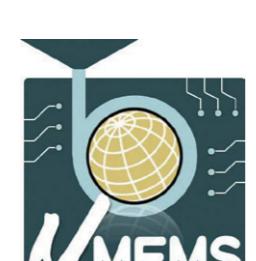
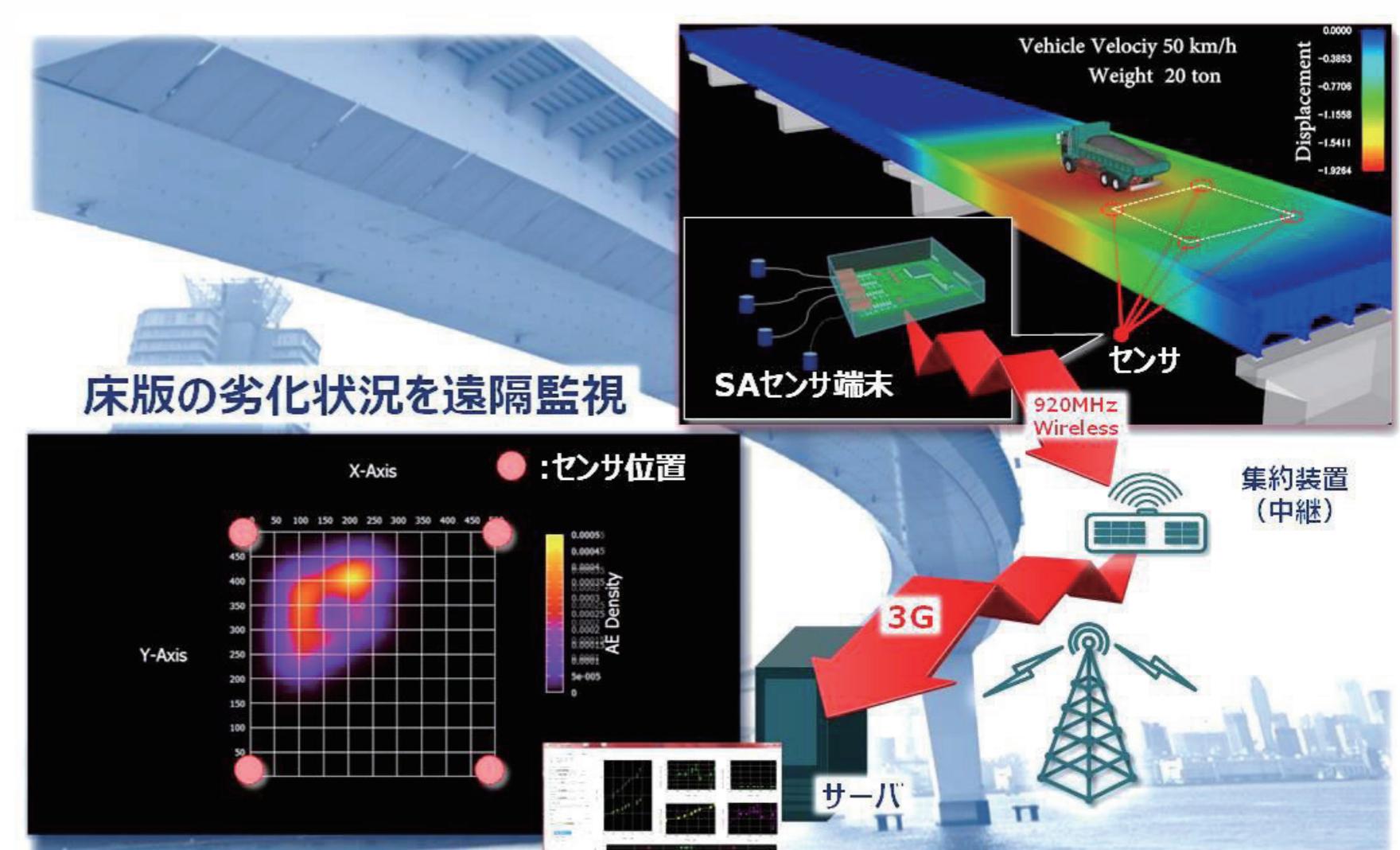
○SAセンサの適用対象材料は、土、岩、組積造、コンクリート、鋼、複合材料など広範に亘り、橋梁以外にも応用展開が期待できる(構造物聴診器)



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
- ▶ サーバでデータを分析し、橋梁の劣化状況を監視



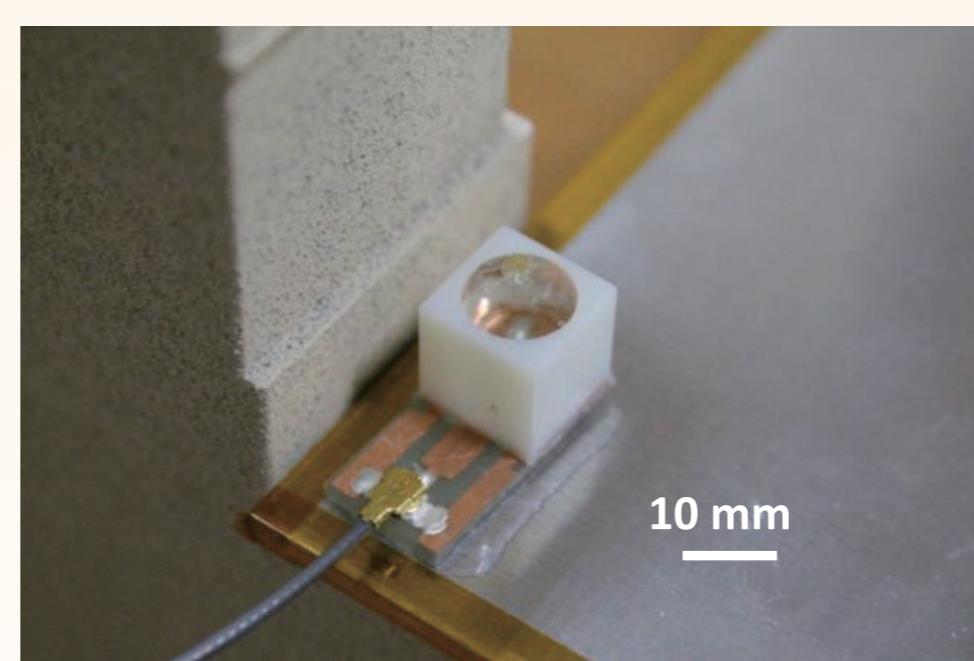
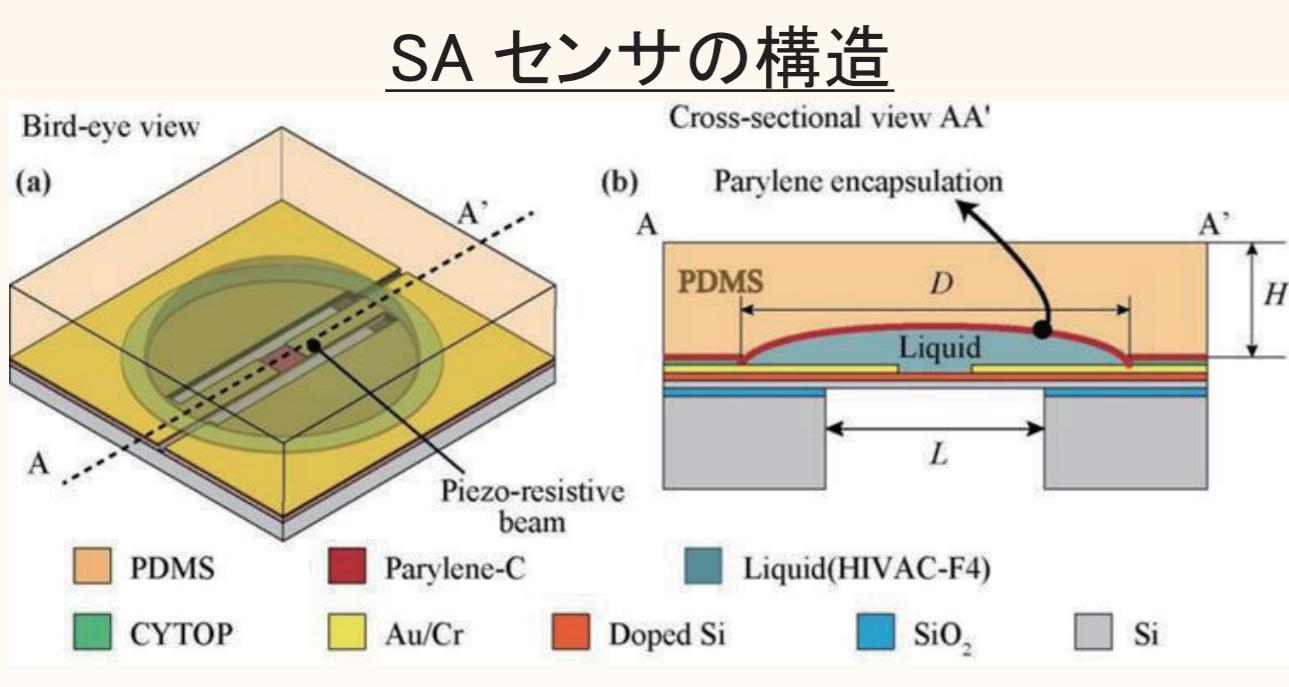
超広帯域振動センサによる橋梁センシング(2)

Bridge Sensing System using Super Acoustic Sensor(2)

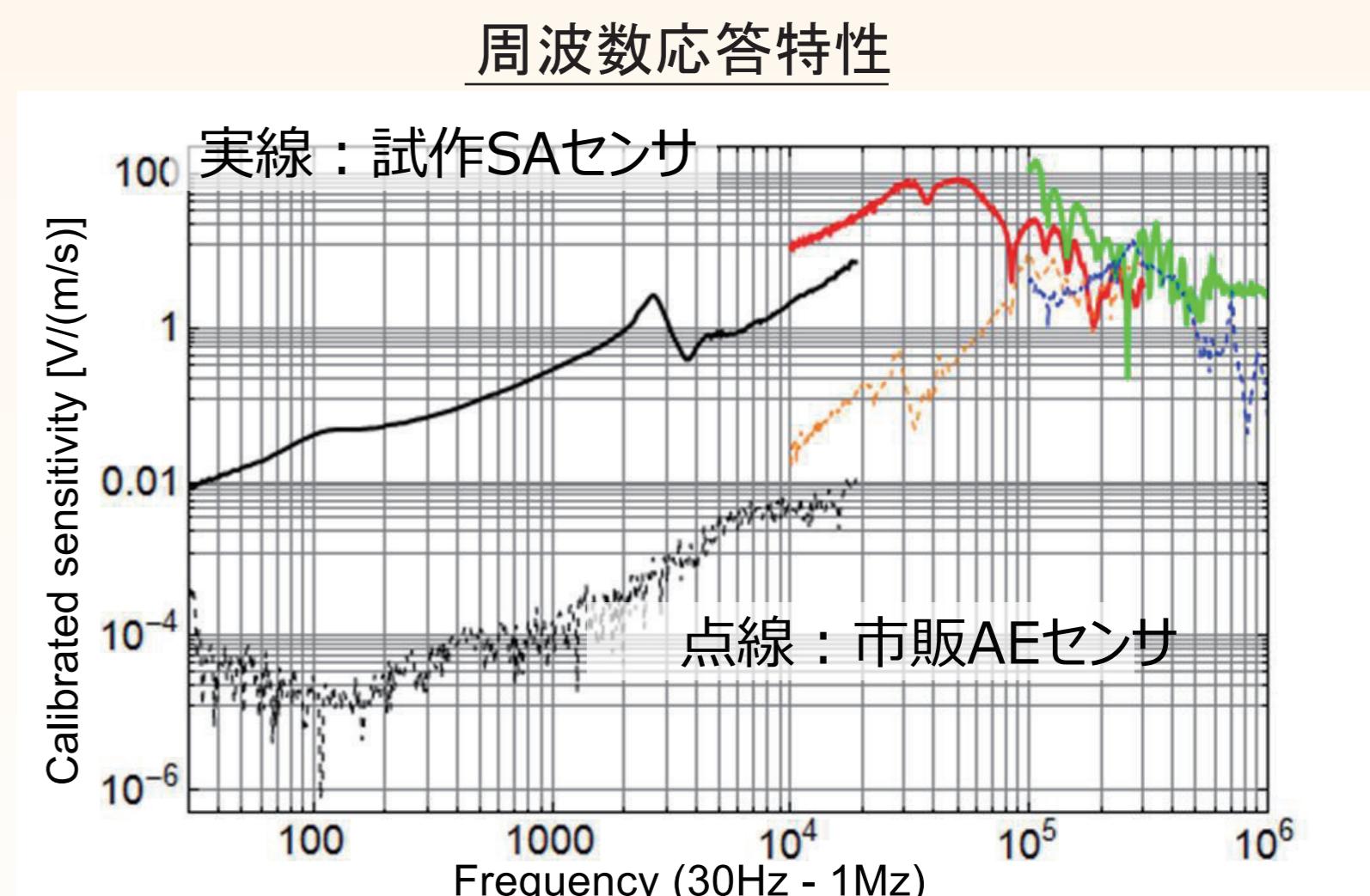
これまでの成果(H26年~)

OSA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



試作センサの外観



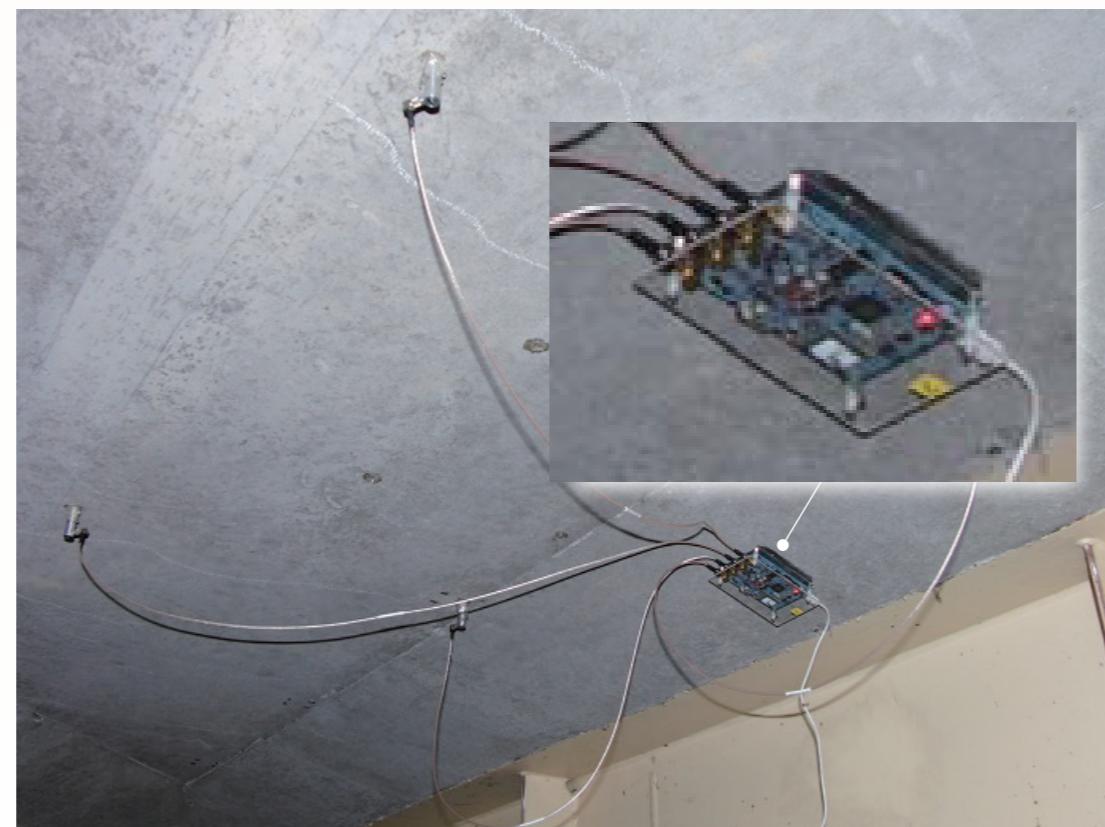
小型センサ端末の開発とシステム実証実験

- 自立発電動作可能な低消費電力小型無線センサ端末を開発



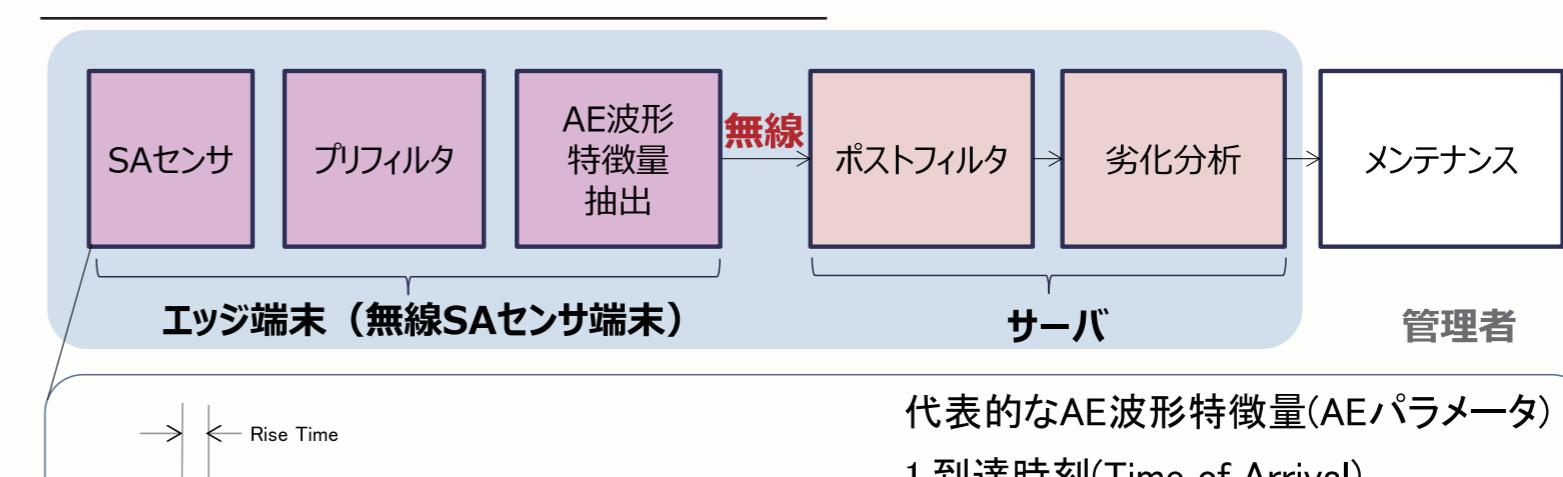
試作した無線 SA センサ端末

- ・小型(100X70mm)
- ・4ch SAセンサ入力
- ・FPGAによる特徴量抽出
- ・920MHz帯無線モジュール
- ・自立発電モジュール接続



橋梁床版への設置の様子

システムの信号処理ブロック



代表的なAE波形特徴量(AEパラメータ)

- 到達時刻(Time of Arrival)
- 振幅(Peak Amplitude)
- 立ち上がり時間(Rise Time)
- 持続時間(Duration)
- カウント(Count)
- エネルギー(Energy)

$$E_{AE} = \int_{T_d}^{T_f} V^2(t) dt$$

- RMS値 (RMS)

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{T_d} \int_0^{T_d} V^2(t) dt}$$

橋梁構造の健全性定量評価手法の開発

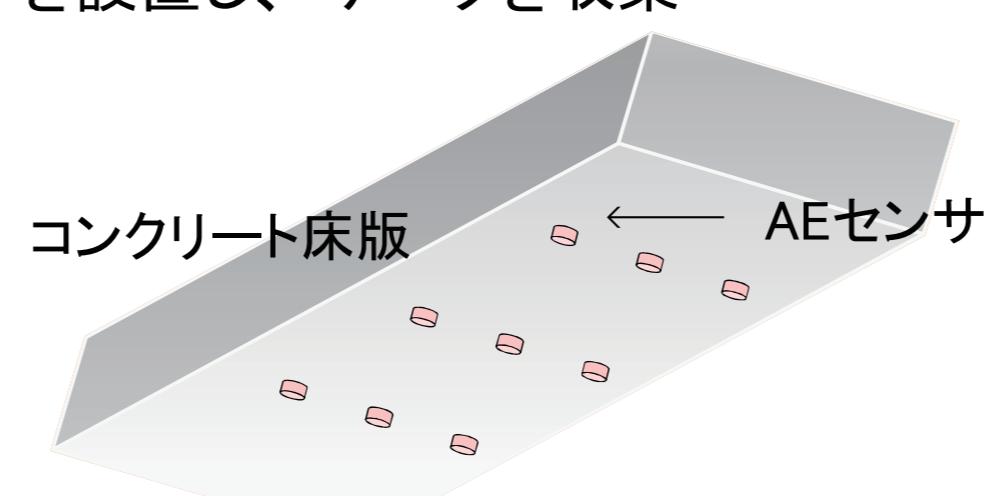
- 独自の手法にて、対象物の内部ひび割れの位置を可視化。高速道路橋で実証

① 対象橋梁の外観

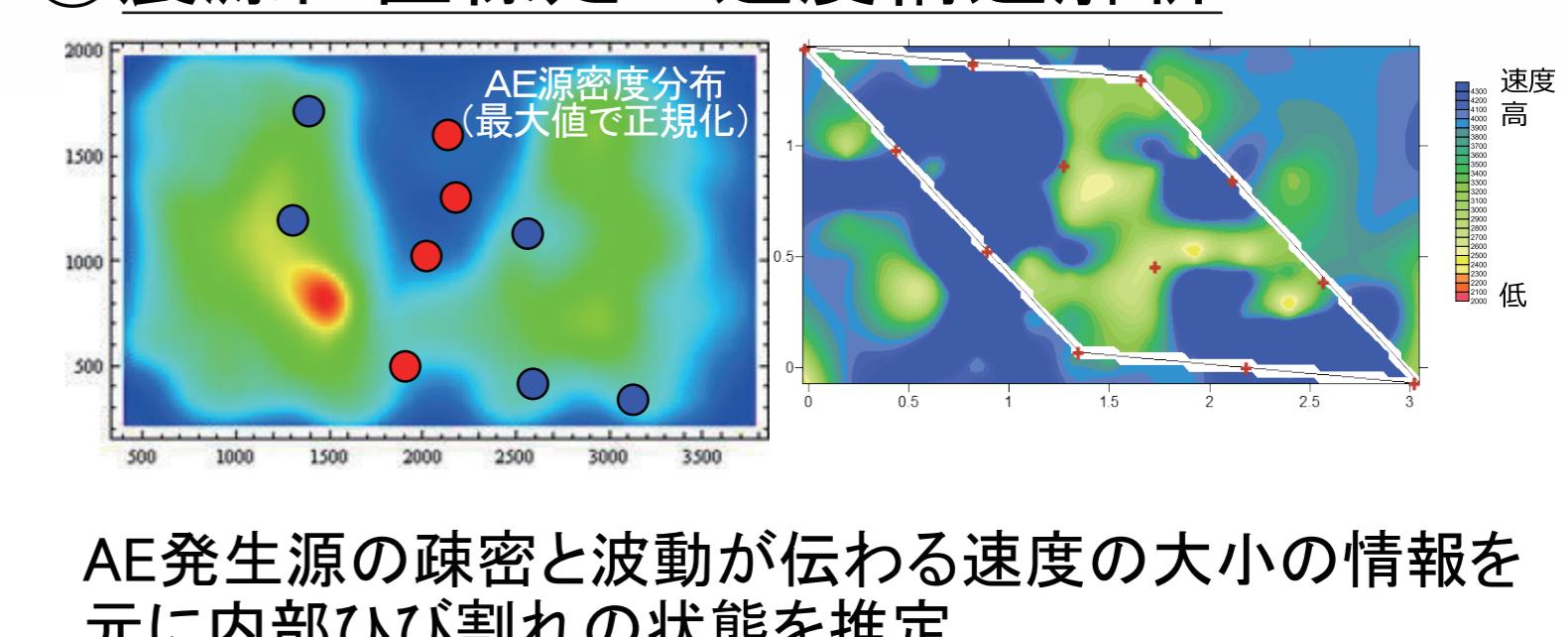


② 測定の模式図

高速道路橋梁の床版にAEセンサを設置し、データを収集



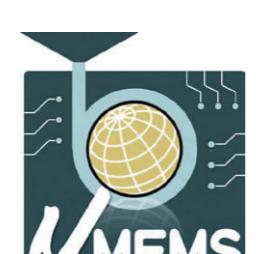
③ 震源位置標定 & 速度構造解析



④ コア試料分析



分析により、外観上は判別できない内部ひび割れを特定可能などを確認



技術研究組合
NMEMS 技術研究機構



国立研究開発法人
新エネルギー・産業技術総合開発機構

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

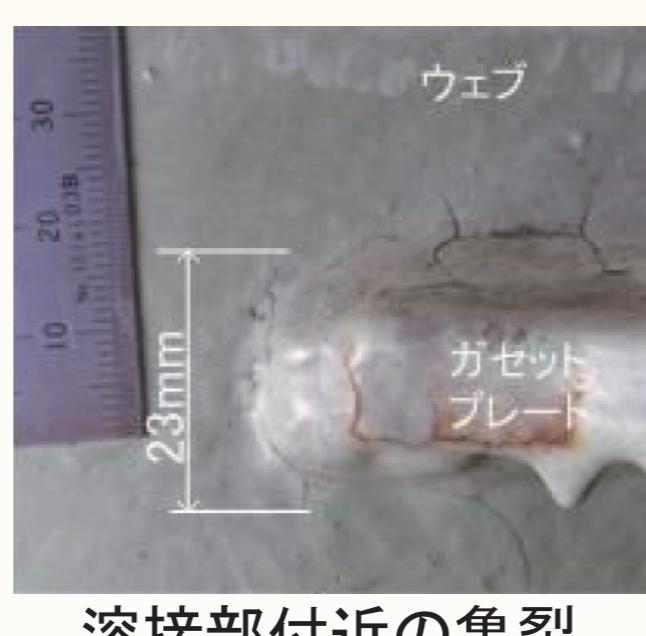
- ◆高感度極薄シリコンひずみセンサアレイ、低成本印刷ひずみセンサアレイ
- ◆ひずみ分布の面パターンから橋梁の亀裂を経過観察、発見、予測
- ◆UV・水蒸気バリア層による長期耐久性、粘接着シートで簡単施工

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



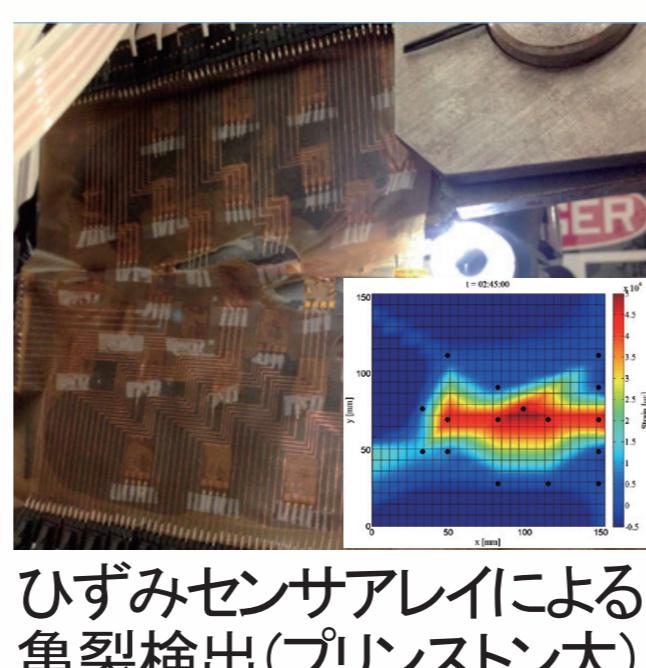
○補修・補強

- ストップホール、溶接などを行った後、経過観察

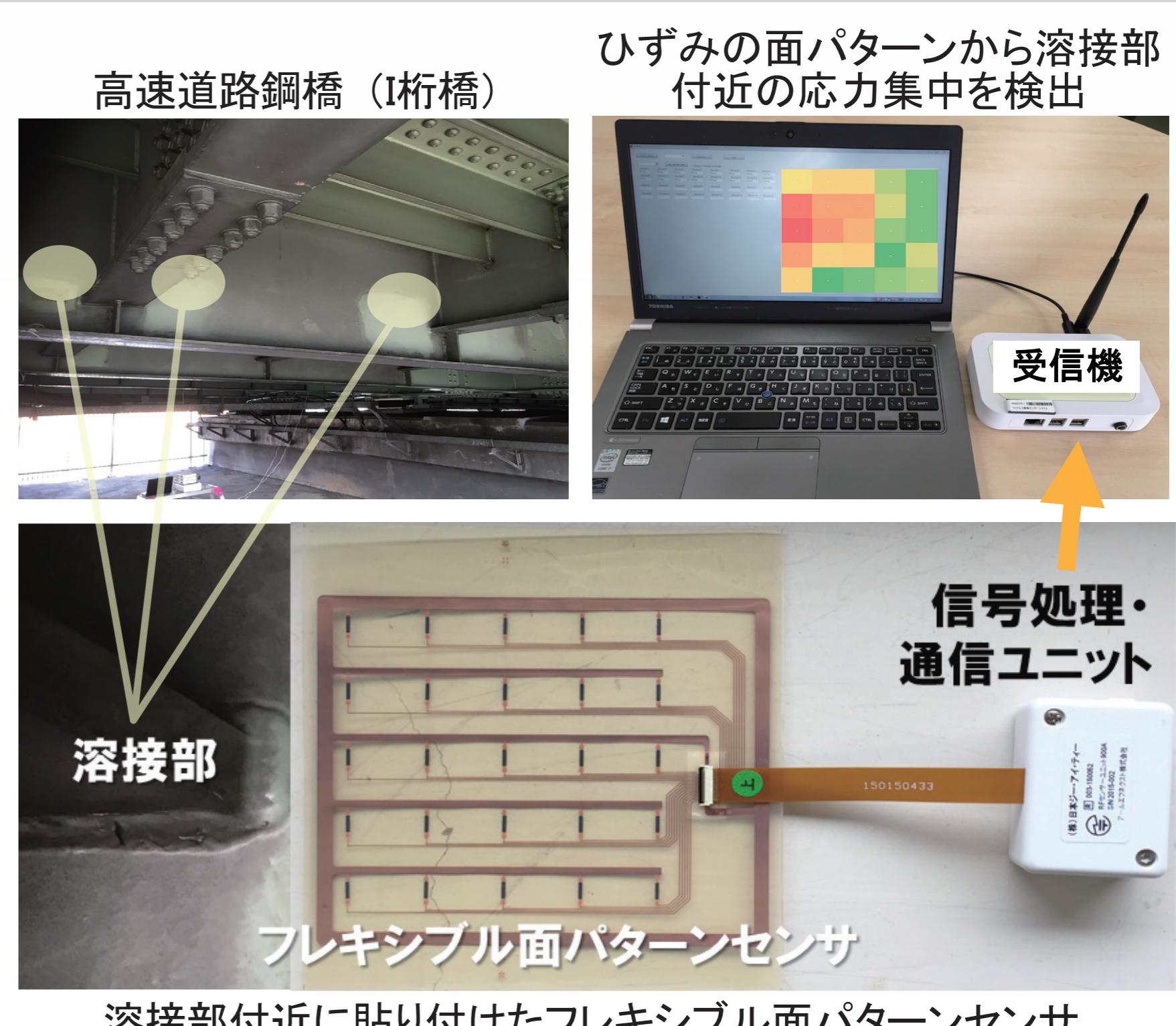
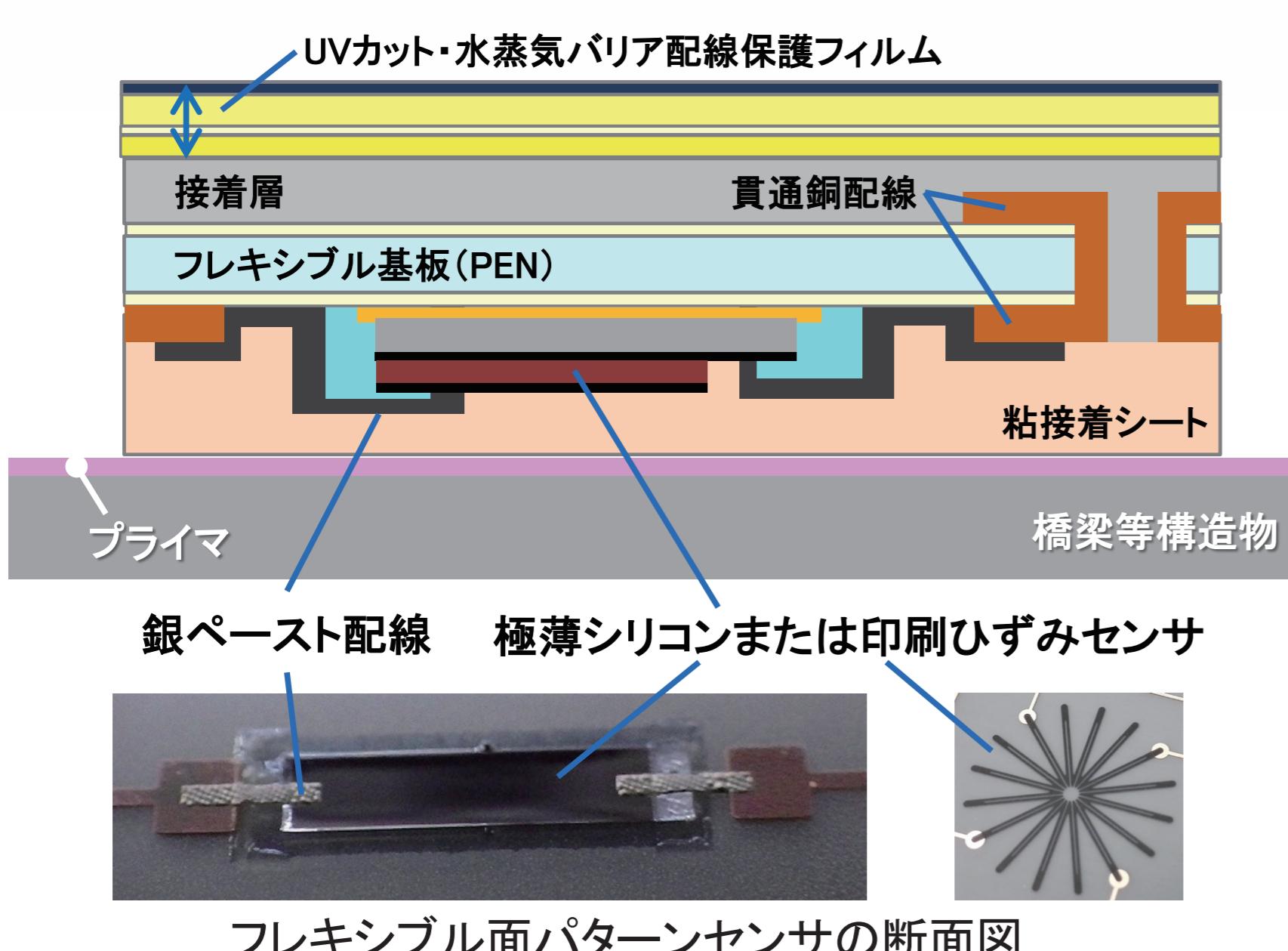


研究開発のねらい

- ・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



概要図



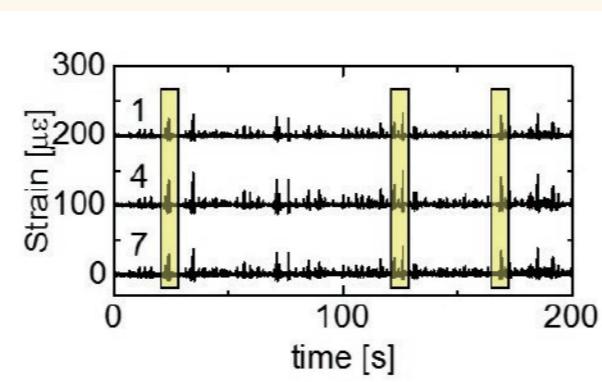
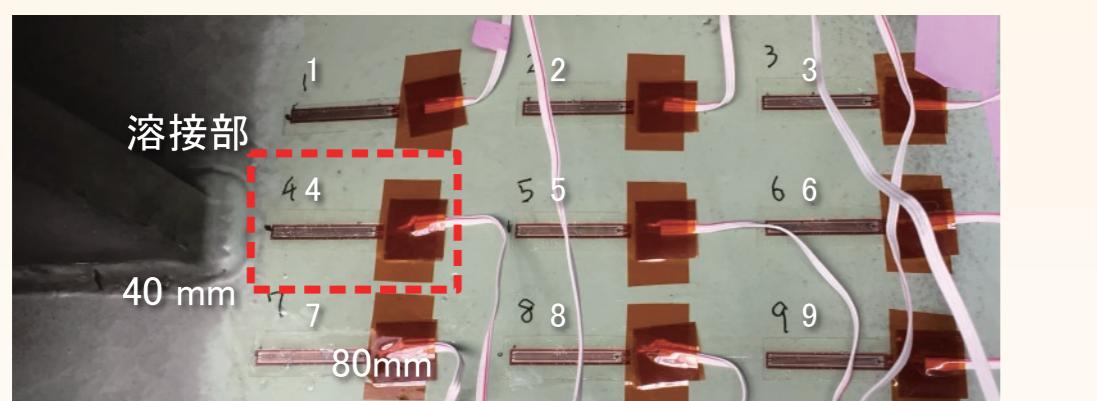
ひずみ分布測定フレキシブル面パターンセンサ(2)

2D-strain-pattern Sensor Sheet(2)

これまでの成果(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



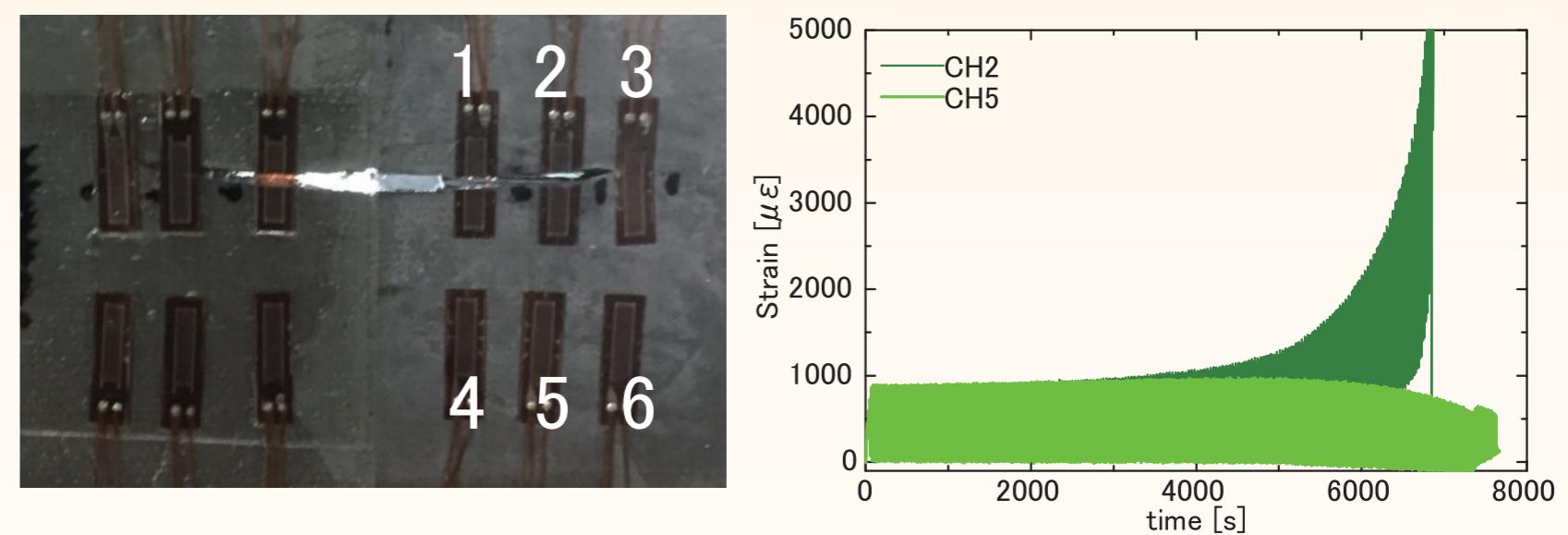
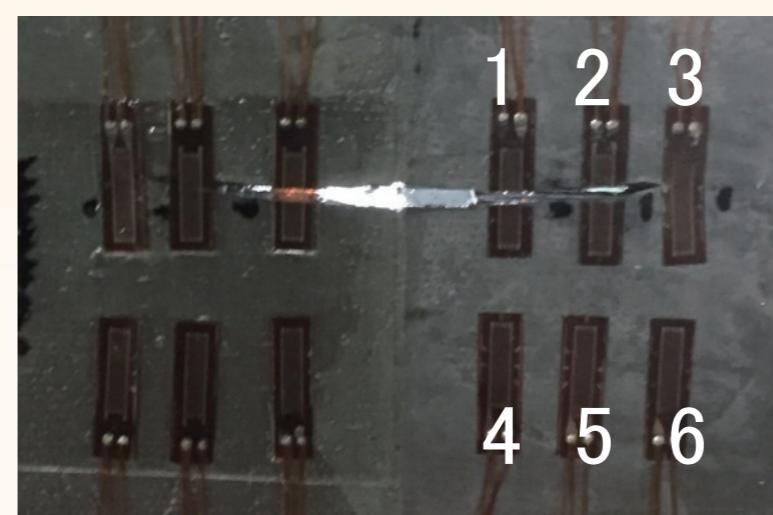
ひずみ分布の面パターン ($\times 10^{-6}$)

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 $10 \sim 100 \mu\epsilon$ 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 ($\times 10^{-6}$)

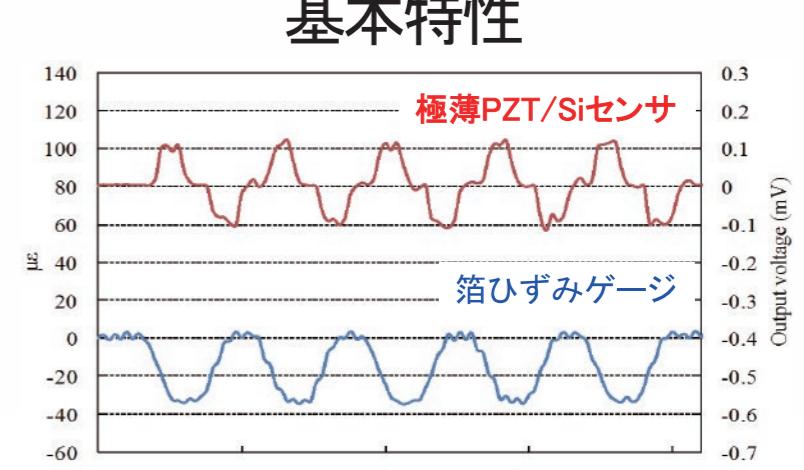
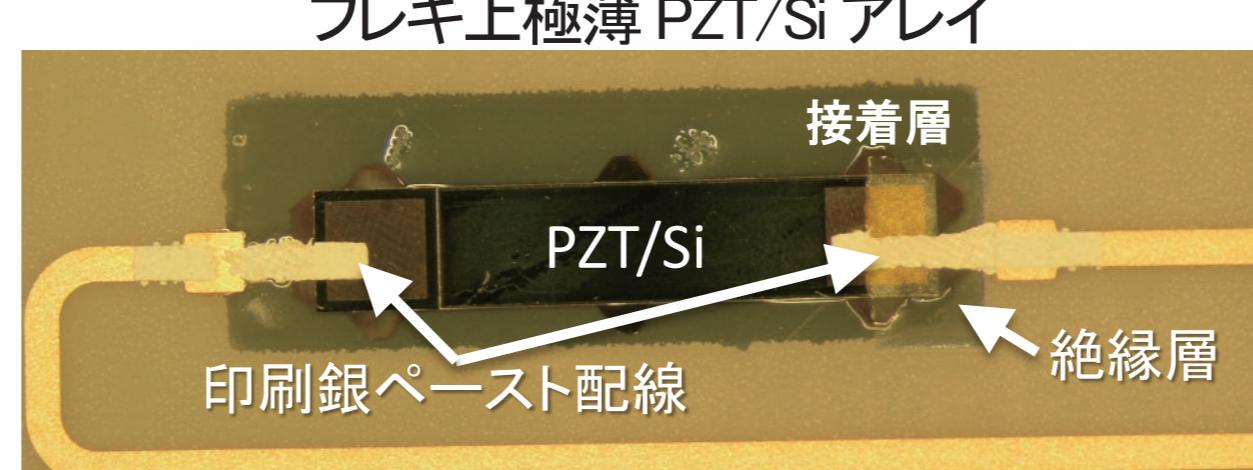
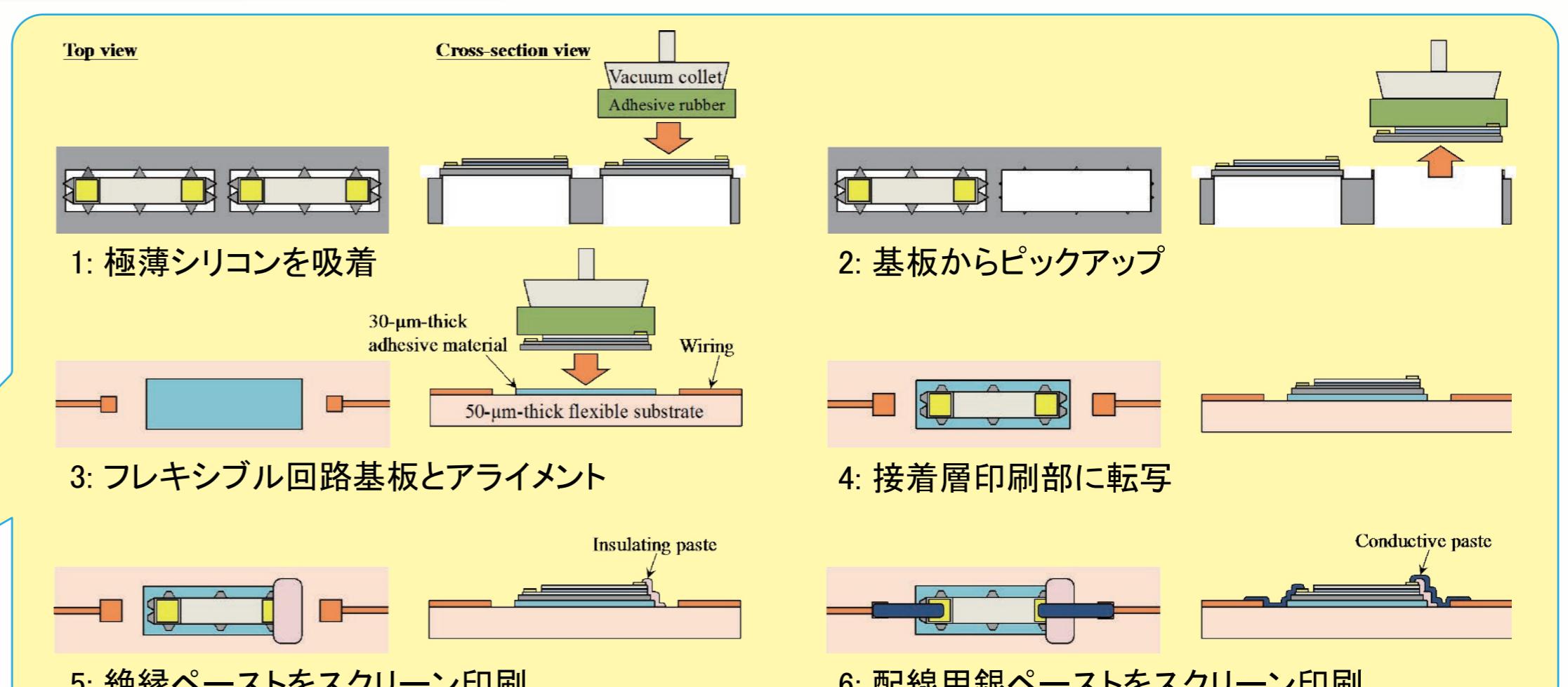
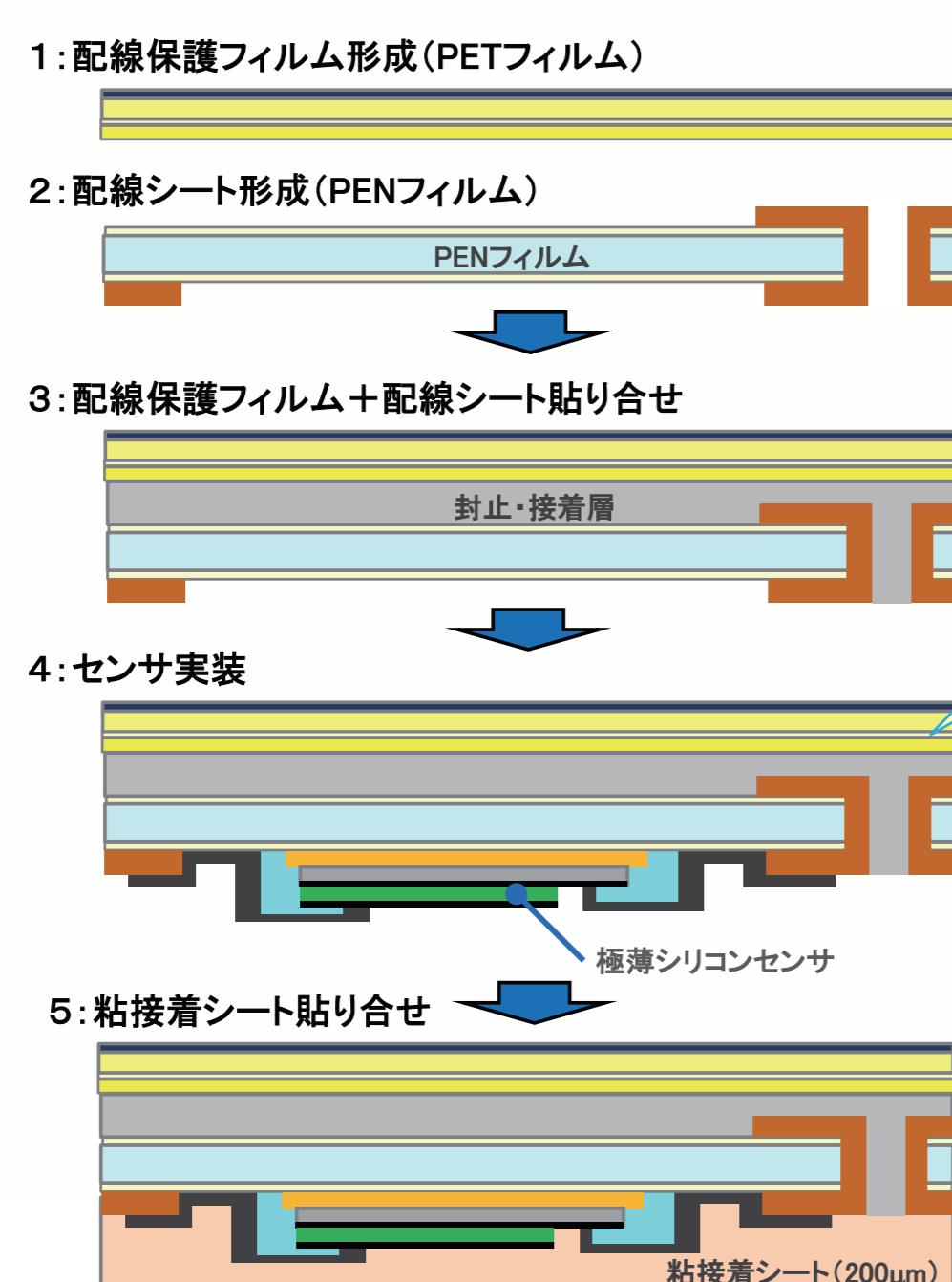
1000s 3000s 5000s 7000s



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

○極薄PZT/Siをアレイ化したフレキシブル面パターンセンサプロセス開発

保護層、センサアレイ、粘接着シートの集積化プロセスを開発



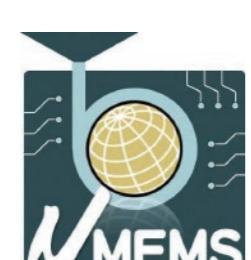
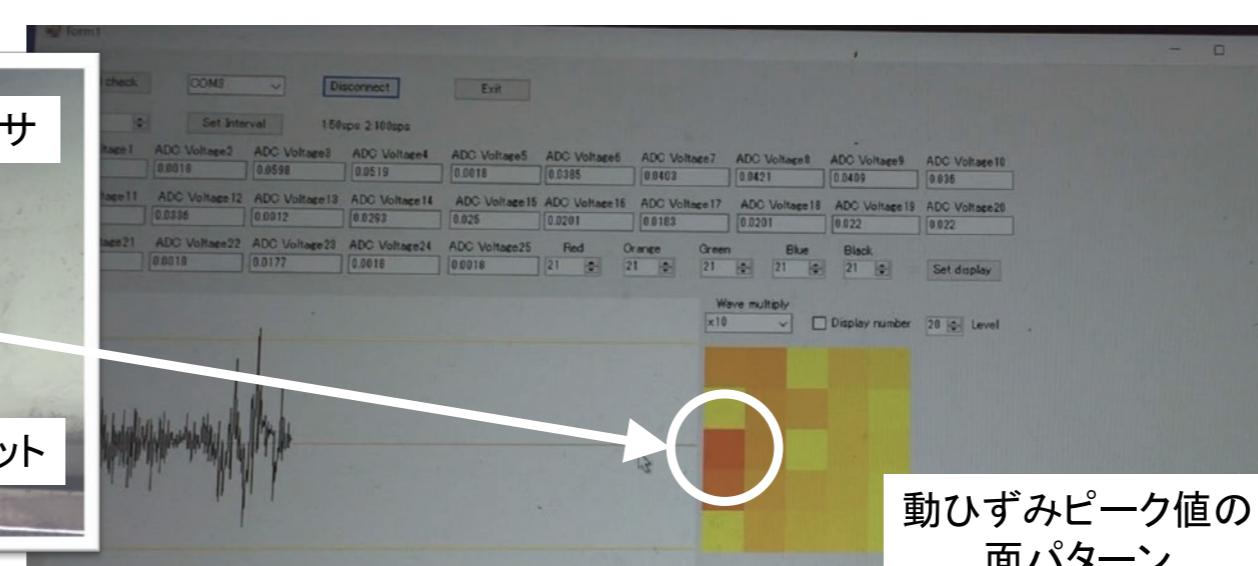
実橋レベルの動ひずみに
対して十分な感度

○フレキシブル面パターンセンサによるひずみ分布測定

湿布感覚のカンタン施工



溶接部の応力集中の可視化に成功



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・温度の同時計測)
- ◆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

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
(人材的な課題)
- 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

■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・定量化し、定量結果に基づく点検業務の支援及び効率化を図る

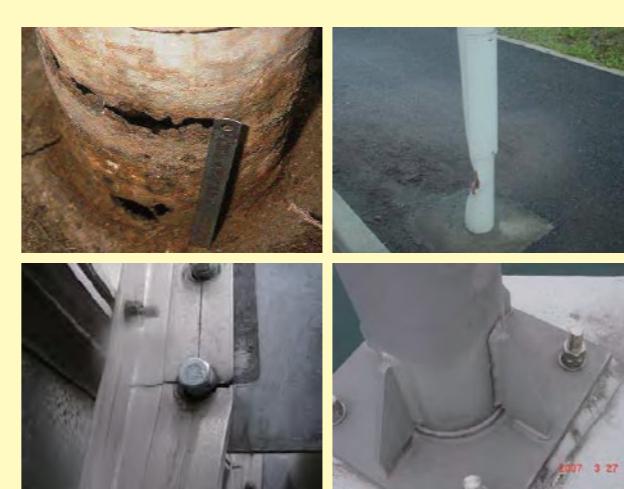


情報板通常点検の現状
(イメージ図)

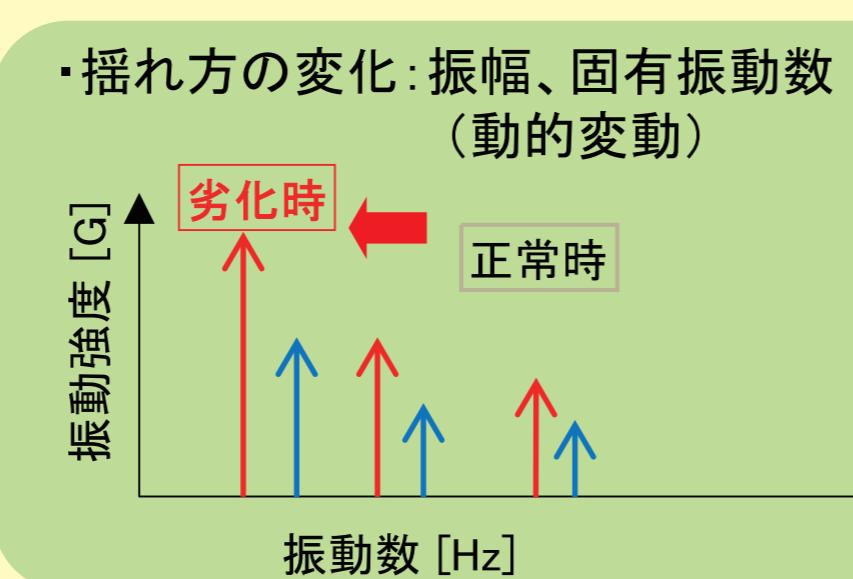
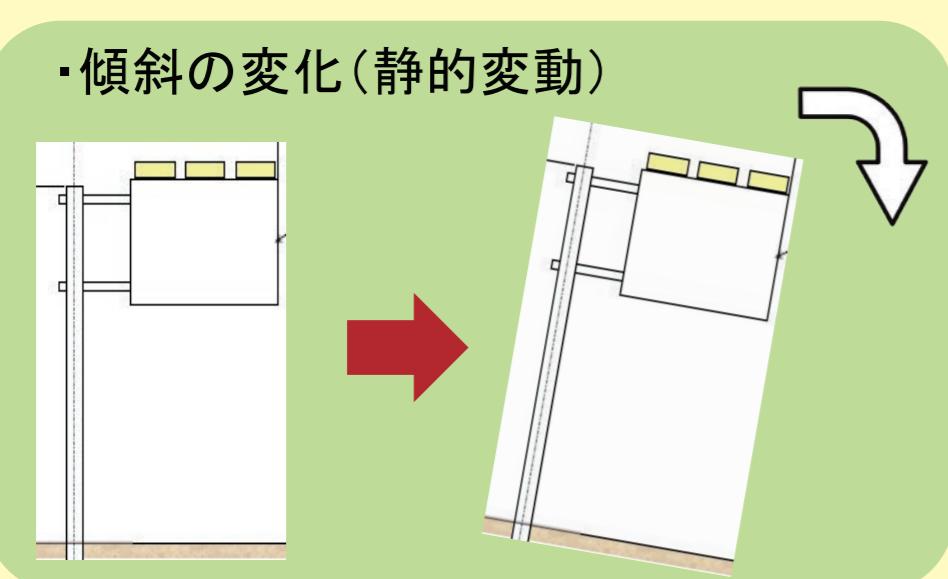
概要図

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



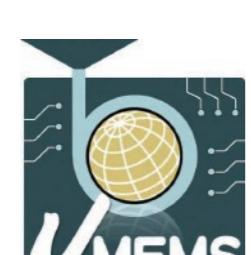
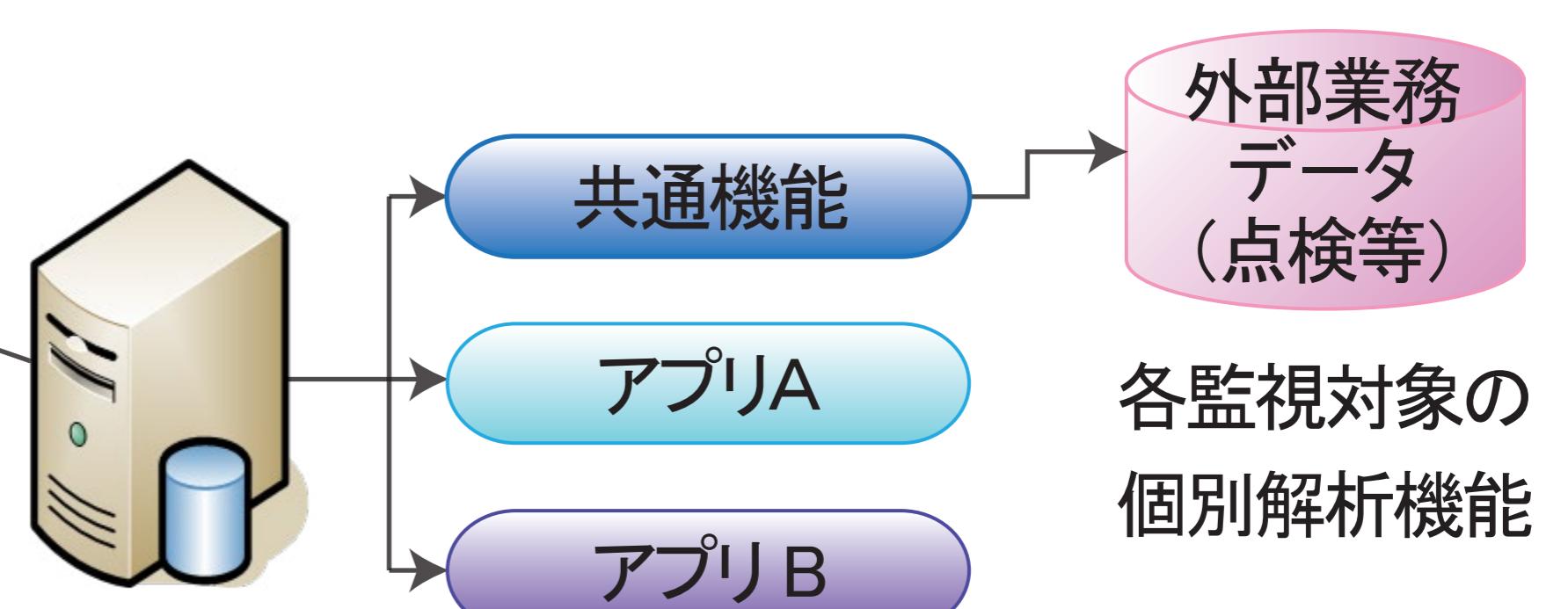
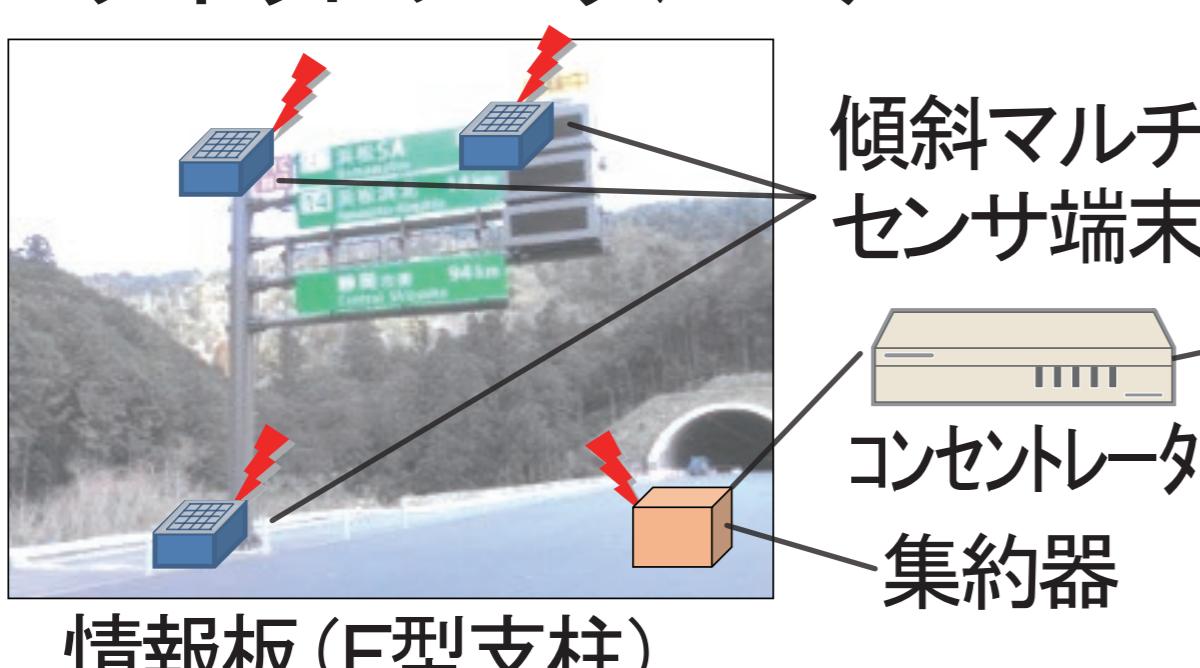
出展：附属物(標識、照明施設等)の点検要領(案)
平成22年12月 国土交通省 道路局 国道・防災課



- 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

センサネットワークシステム



技術研究組合
NMEMS 技術研究機構



国立研究開発法人
新エネルギー・産業技術総合開発機構

傾斜マルチセンサによる情報板のモニタリング(2)

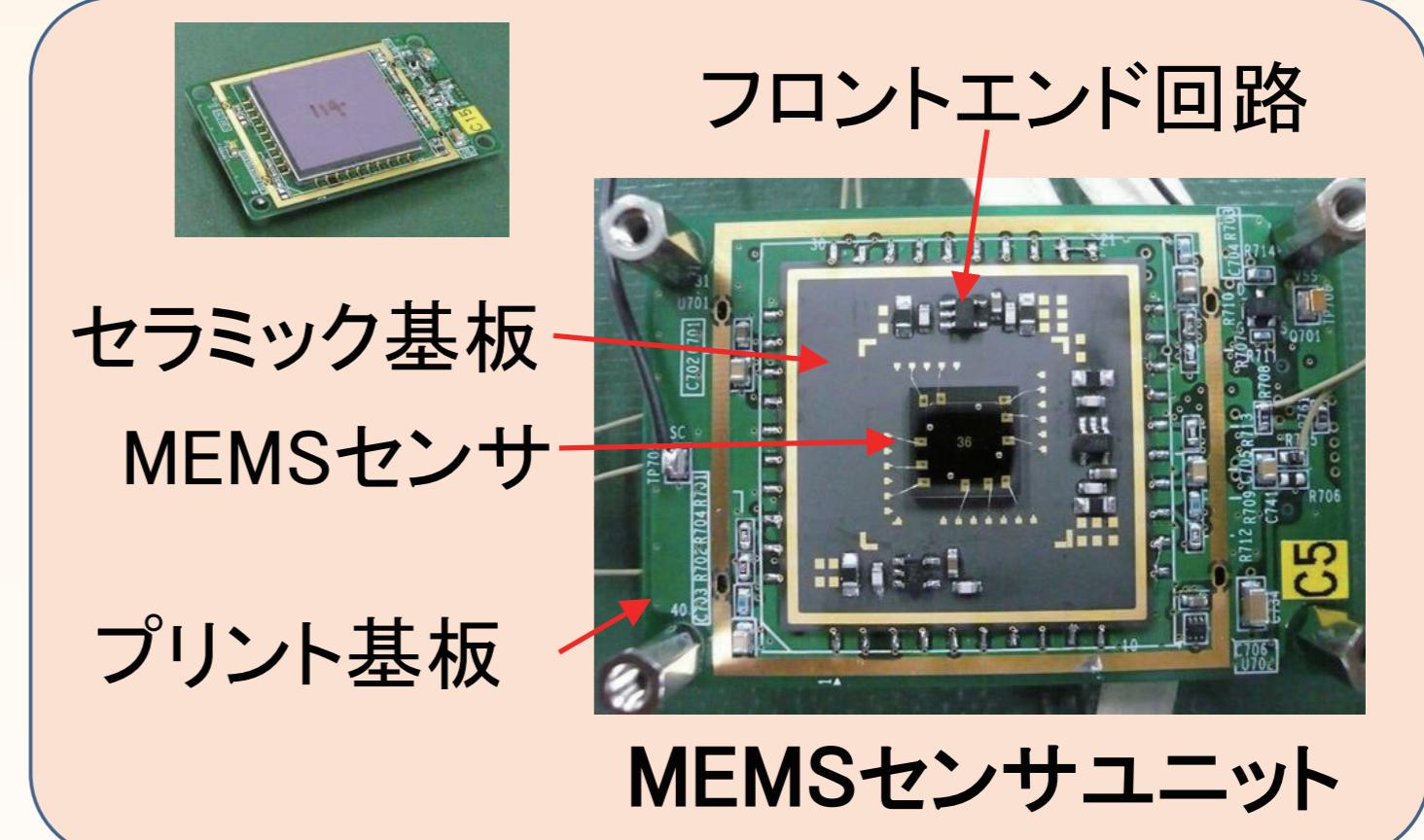
Road Information Board Monitoring using Tilt-multi-sensor(2)

これまでの成果(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）

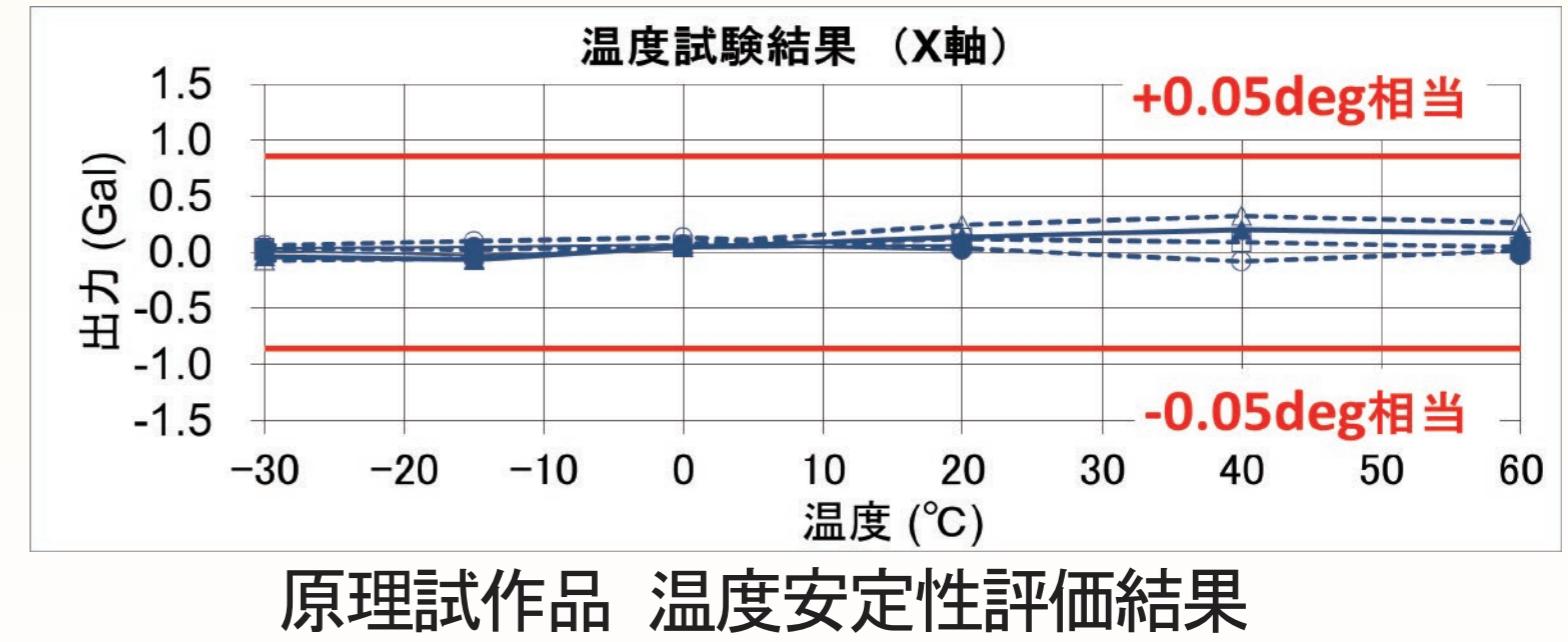
開発目標：

- 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>

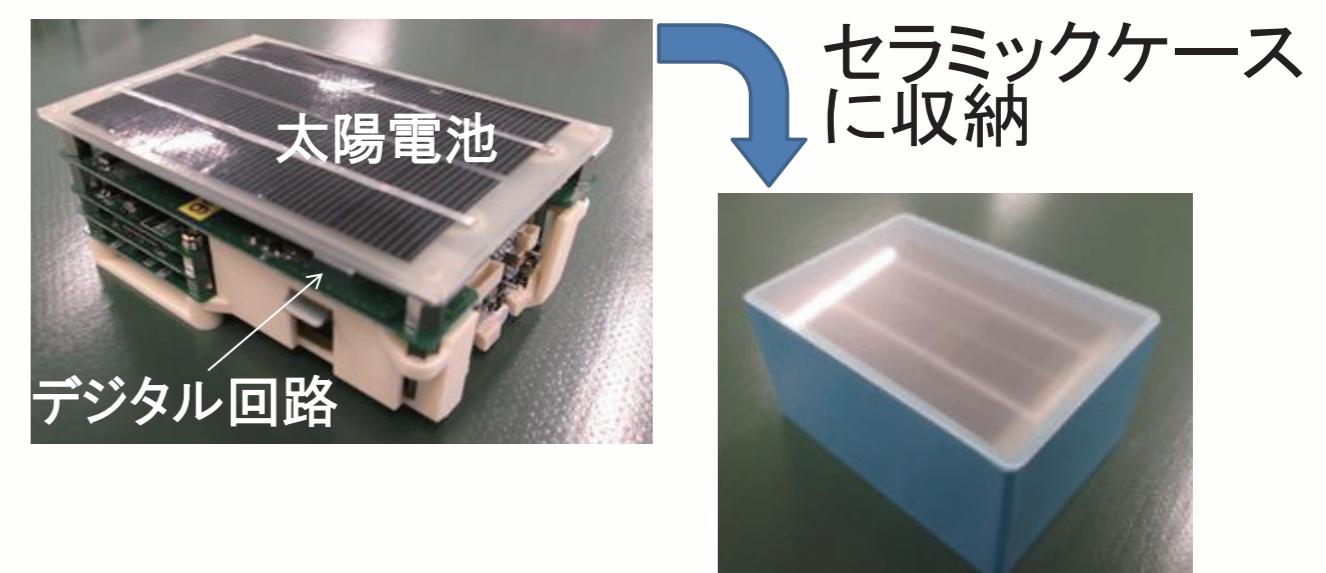
- ・MEMS センサ部をユニット化
- 原理試作品で
温度安定性 0.05deg 達成
- ユニット構造化品評価中



○傾斜マルチセンサ端末の開発

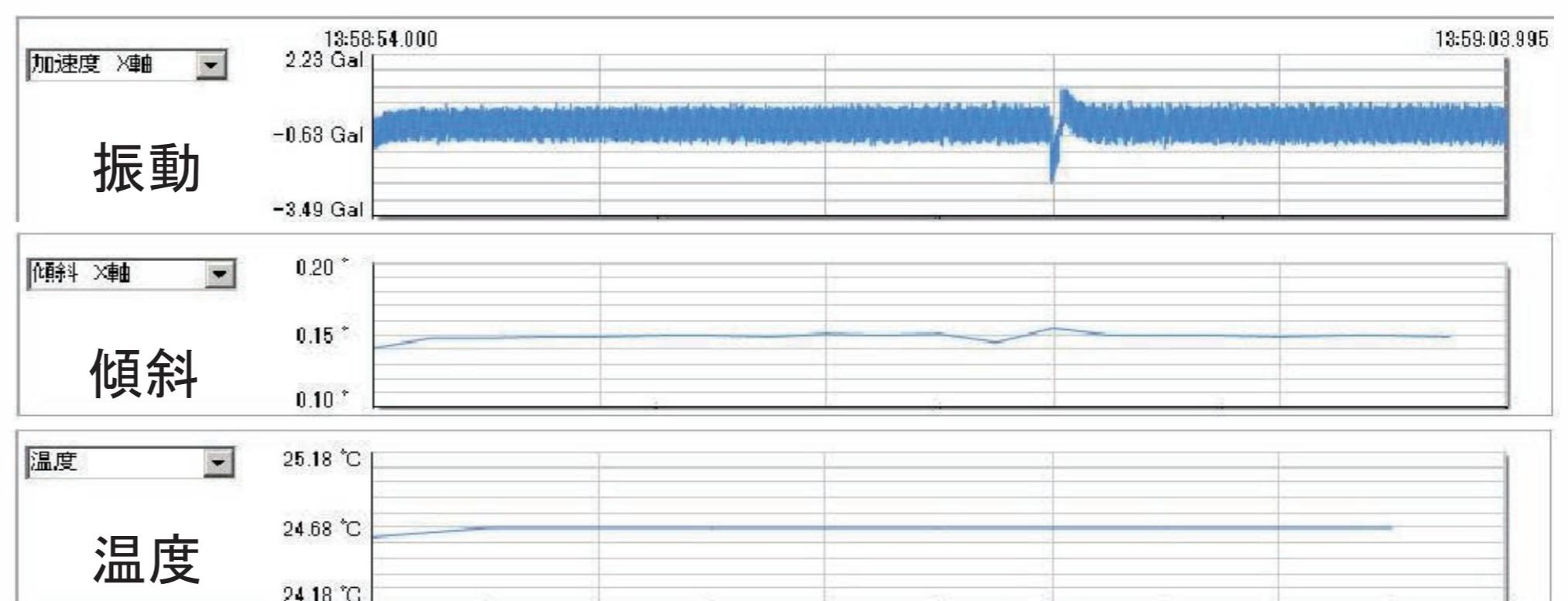
開発目標：

- 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($\pm 1\text{msec}$)
- ④大量データ(900kB/3分)を平均0.5mWで無線転送



<成果概要>

- ・センサ端末構造設計 / 製作完了
- ・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

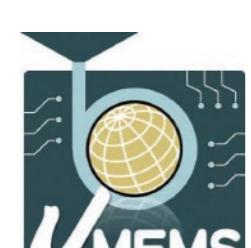
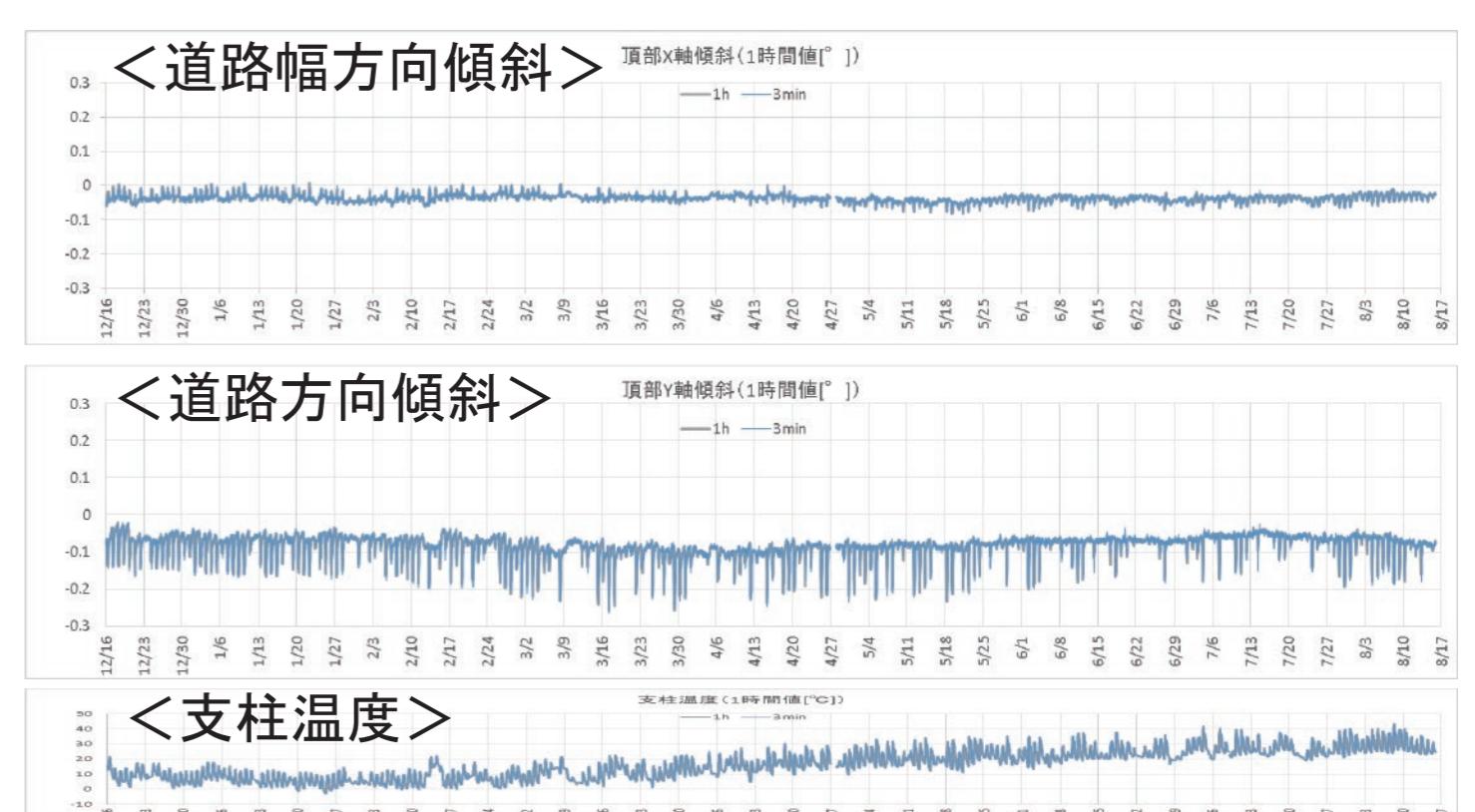


○システム構築と実証試験

- ・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
設計・製作を完了し動作試験中



東名) 吾妻山トンネル入口情報板 (2015.12.16 ~)



技術研究組合
NMEMS 技術研究機構



国立研究開発法人
新エネルギー・産業技術総合開発機構

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)

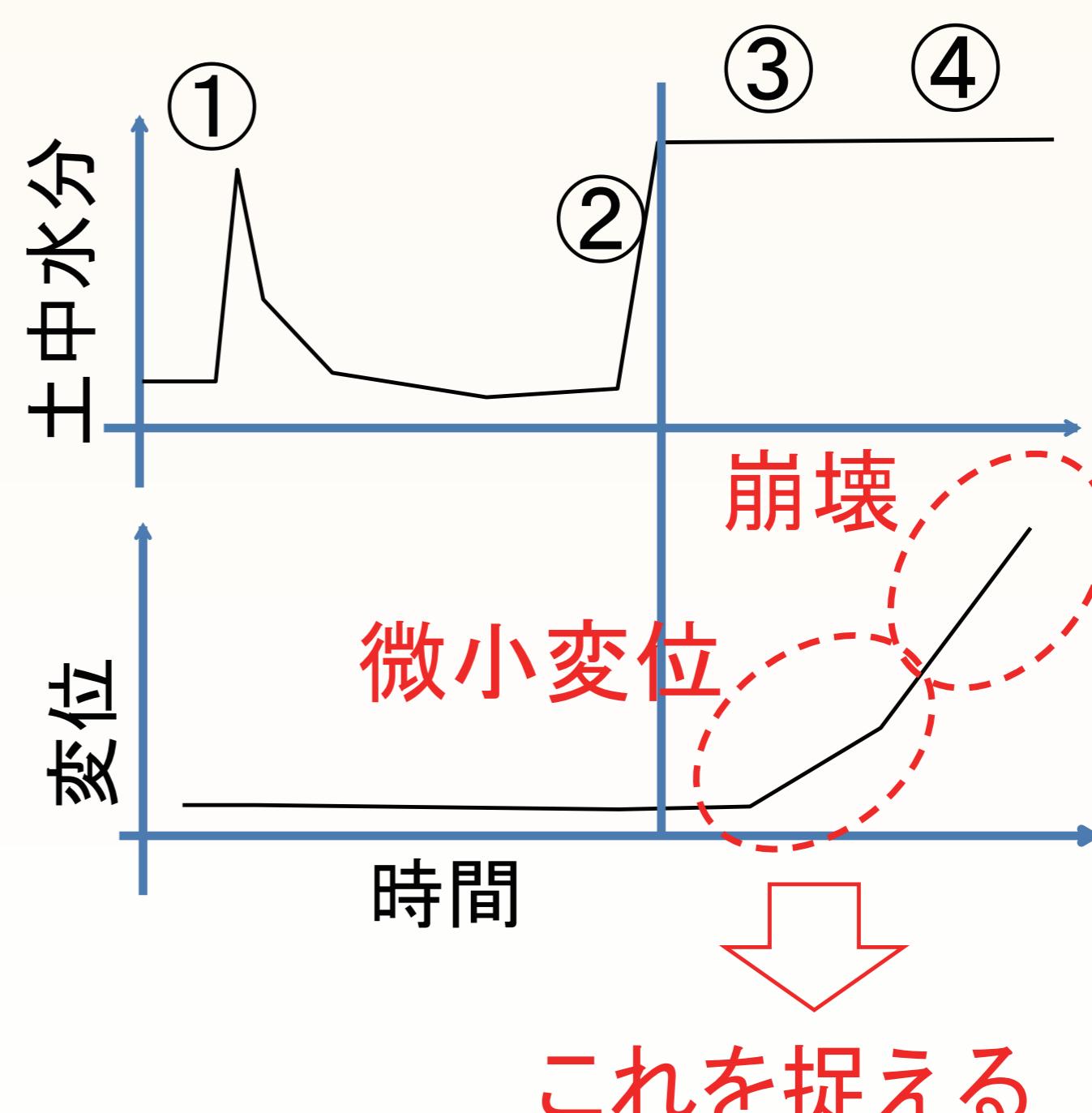
本研究の差異化ポイント

- ◆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

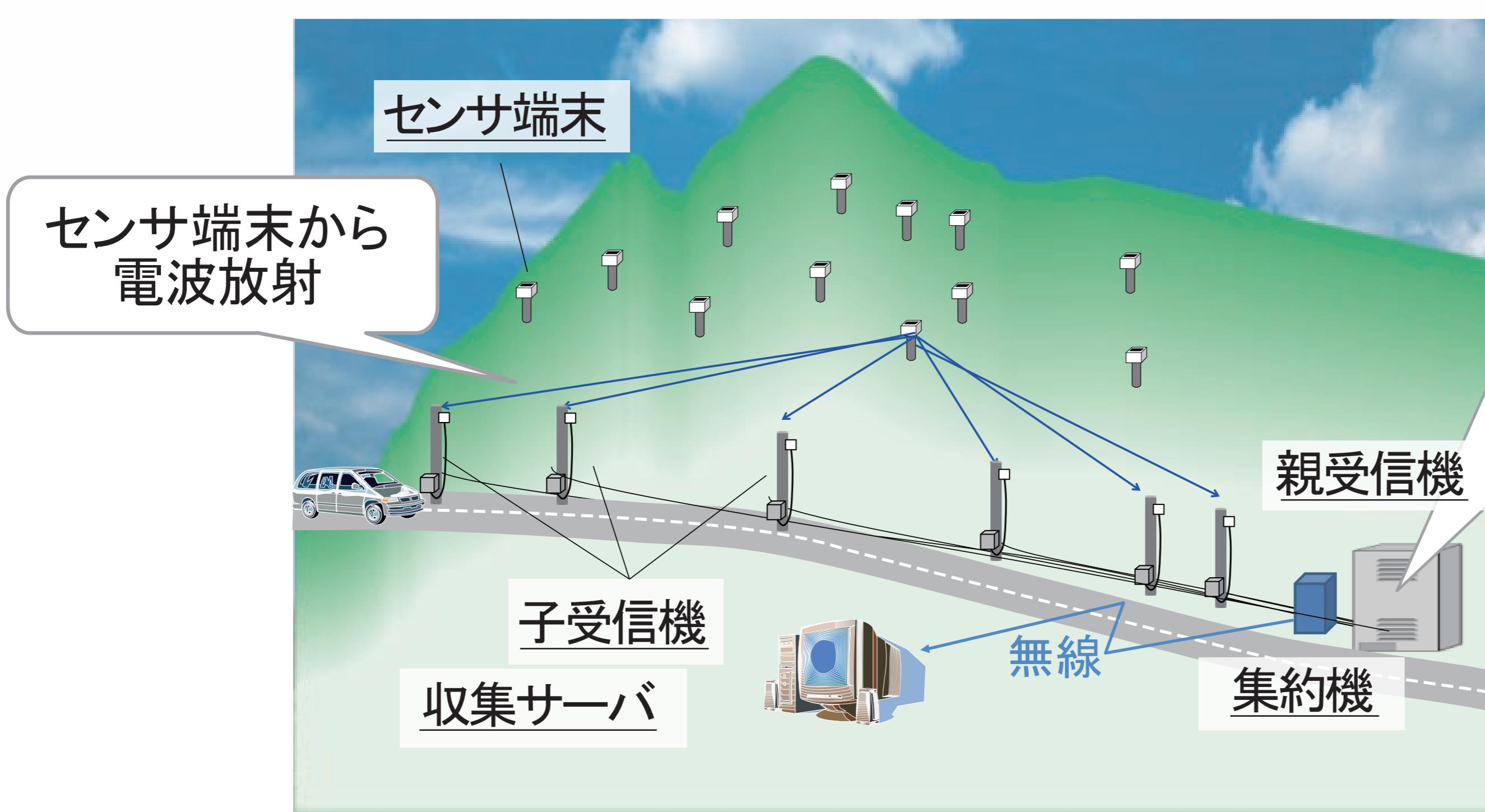
法面崩壊のメカニズム [1]

- 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

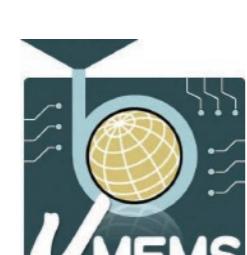


[1] 小泉他、“無線センサネットワークによる多点型土砂災害予測システムの開発,” H24 年度 国交省 國土技術研究会発表論文

概要図



法面変位センシングシステムの概念



技術研究組合
NMEMS 技術研究機構



国立研究開発法人
新エネルギー・産業技術総合開発機構

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(H26年~)

原理検証実験



子受信機

受信アンテナ

アンプ・電源

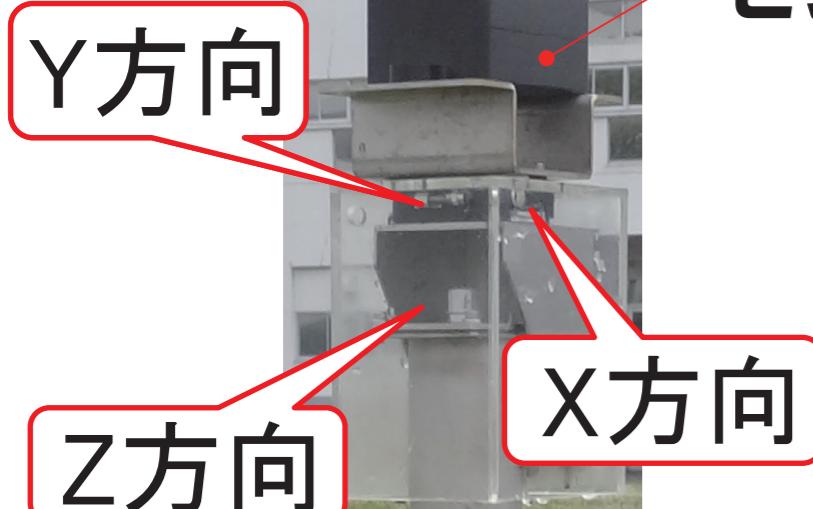
子受信機・支柱

親受信機

センサ端末用支柱

電源ケーブル
RFケーブル

センサ端末



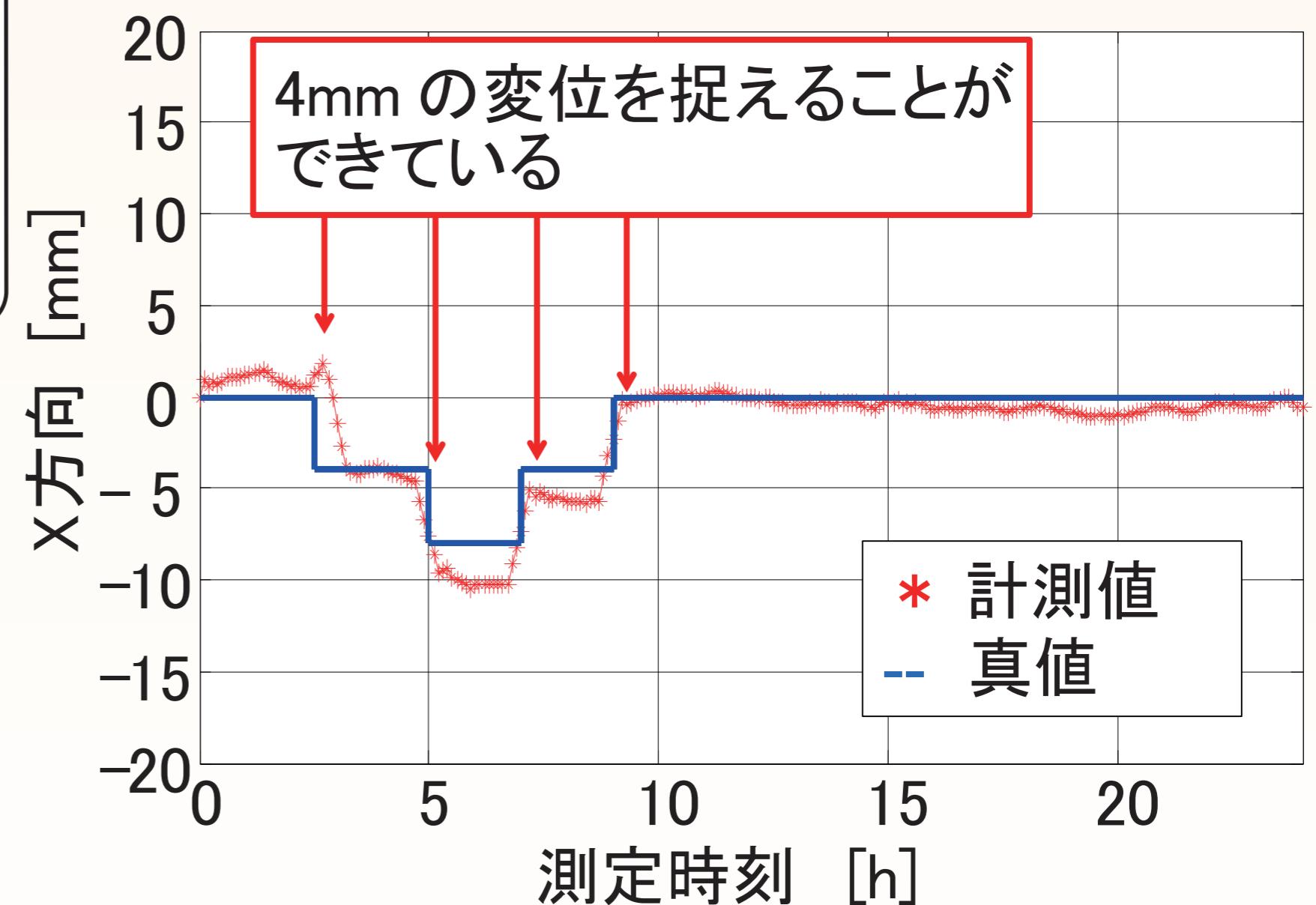
3軸ステージを用いて、
センサ端末を強制的に
±4 mm変位

Z方向

X方向

Y方向

- 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用いて、
4mm^{*1}の強制変位を捉えることを確認

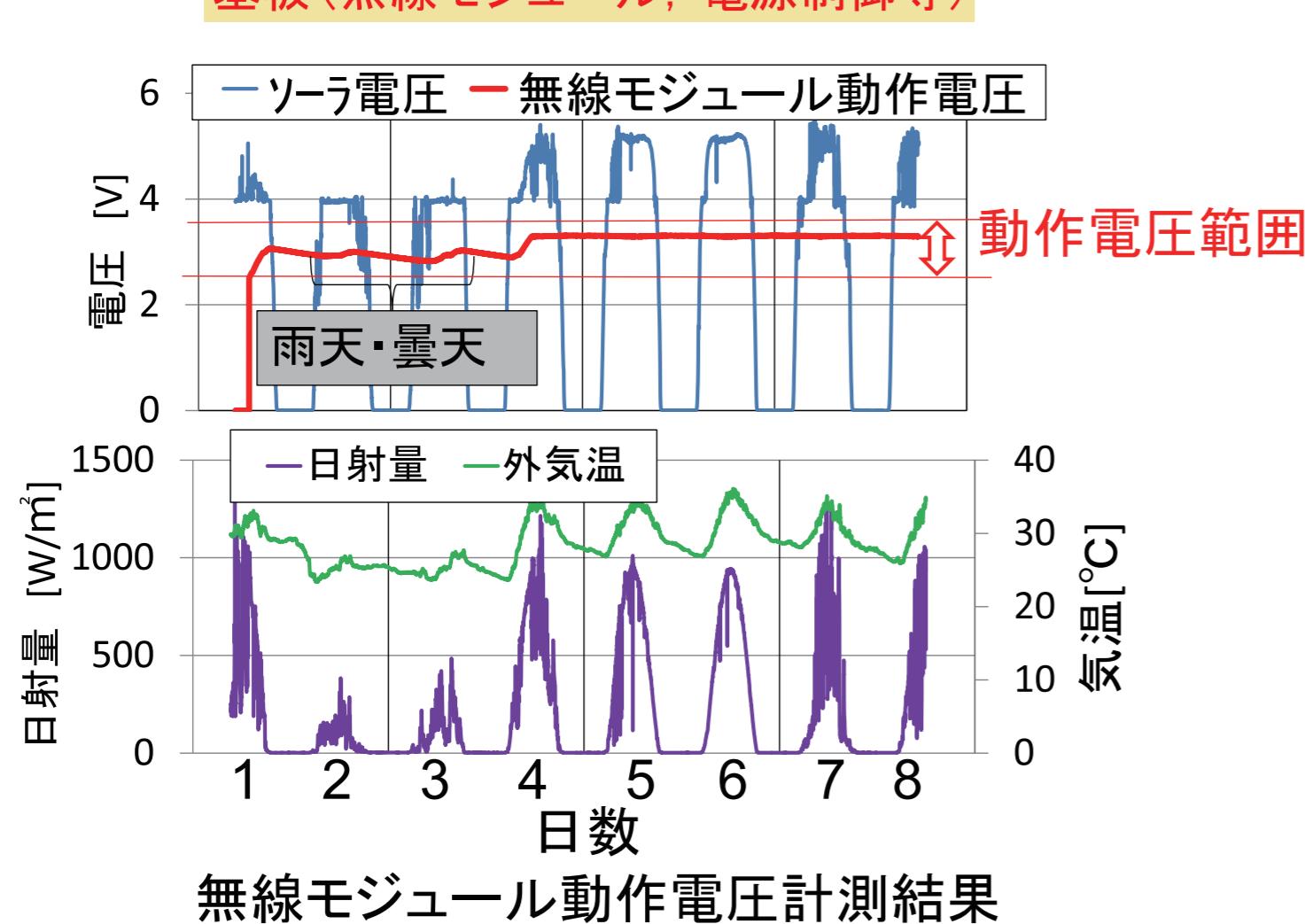
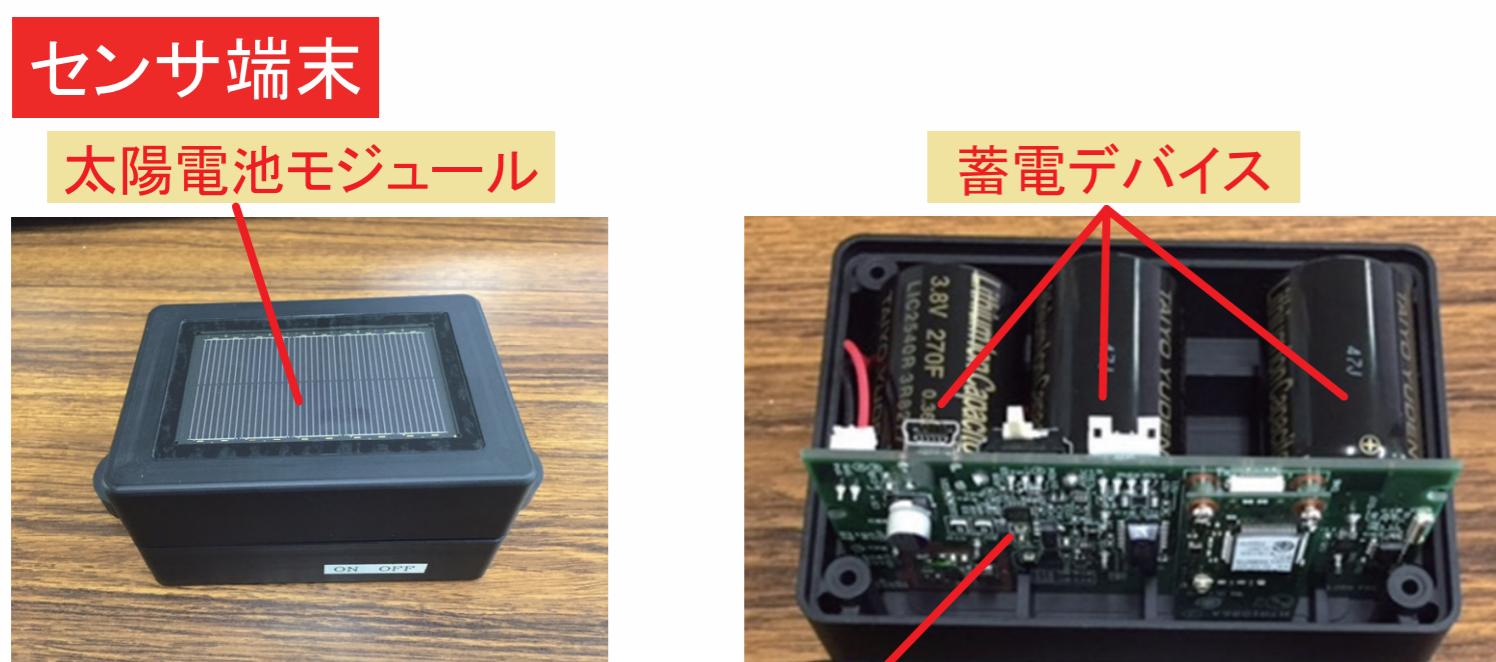


*1: 高速道路の管理基準値として、4mm/h以上変位が認められた場合に通行止めにするというものがある

実証実験(H29~)向け試作機

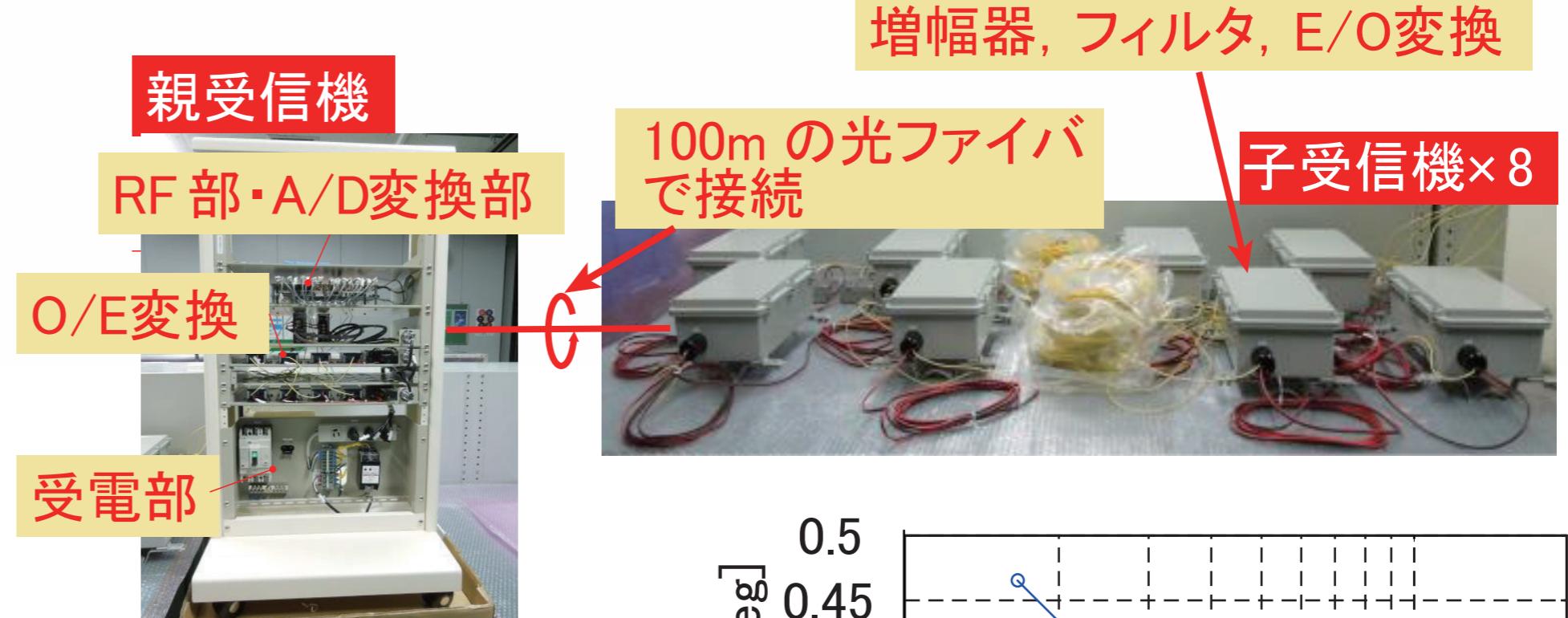
センサ端末

- 雨天・曇天時の継続動作を確認



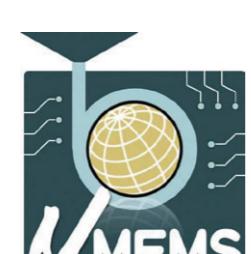
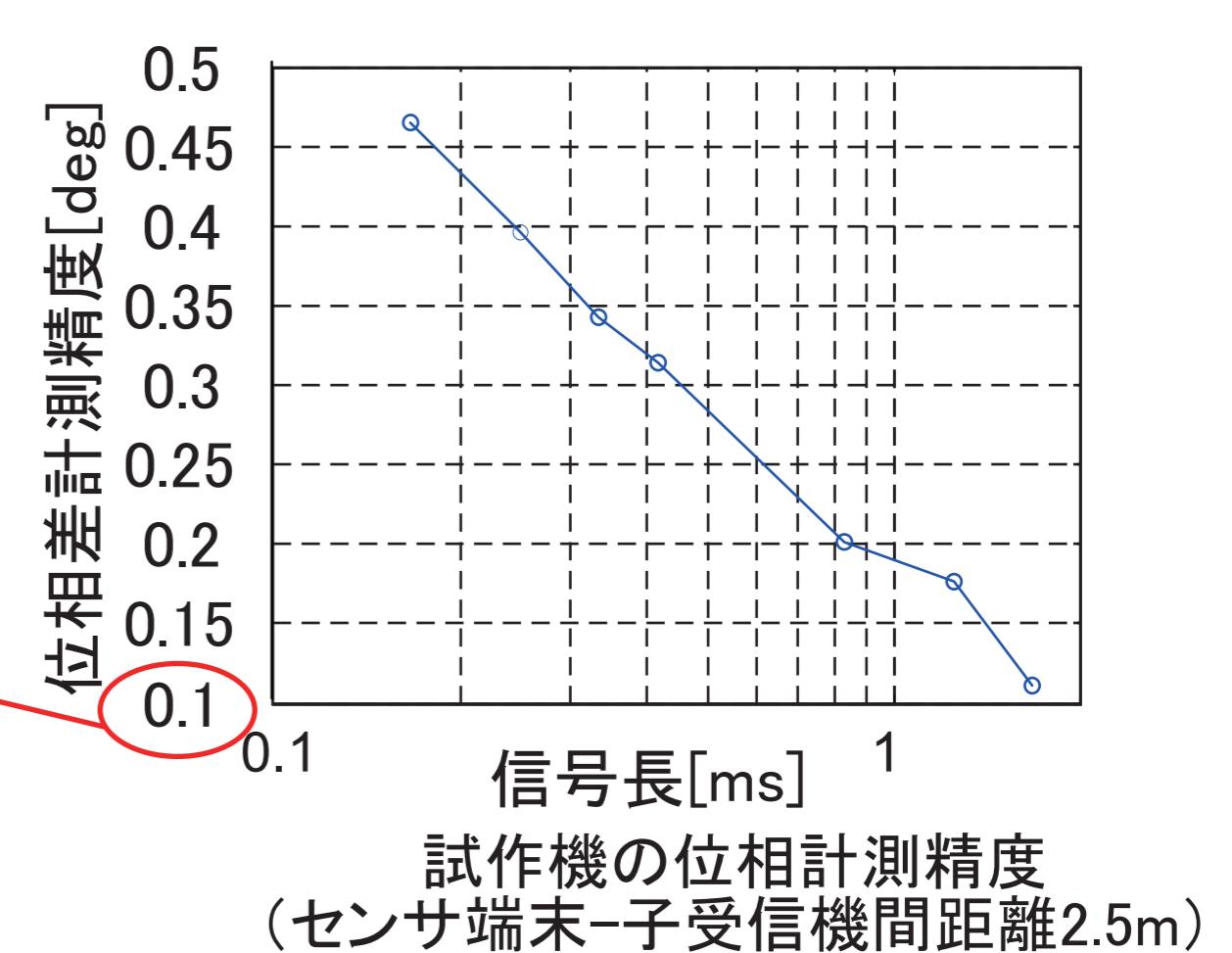
親・子受信機

- 目標変位計測精度^{*2}達成に必要な位相精度が得られることを確認



機器単体で十分な位相精度
0.1deg($\approx 0.1\text{mm}$)を確認

*2: 4mm/hの変位検出
に必要な精度



技術研究組合
NMEMS 技術研究機構



国立研究開発法人
新エネルギー・産業技術総合開発機構

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

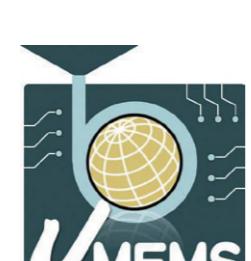
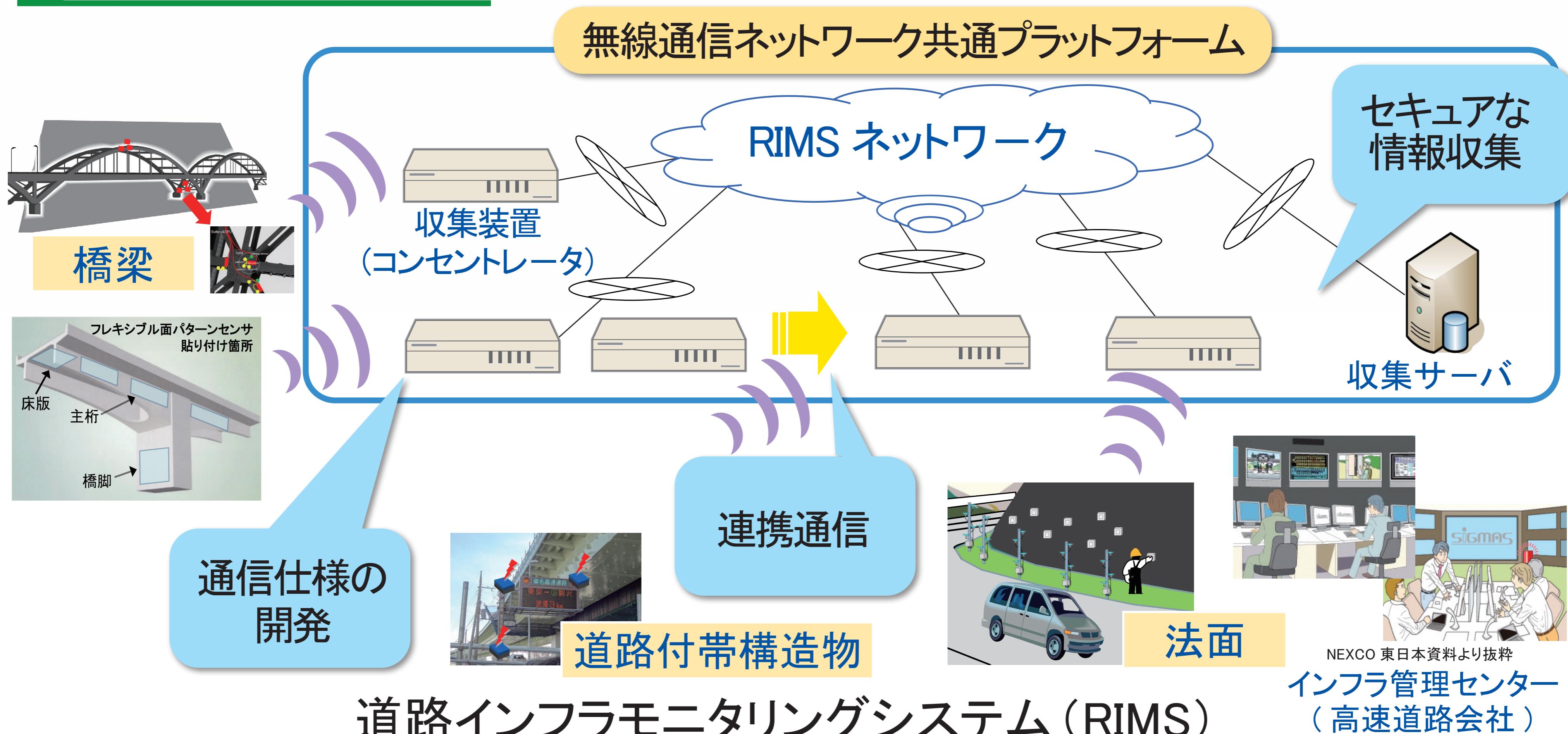
センサやモニタリングの開発や普及にあわせ、それぞれの独自方式にあわせた専用の機器およびシステムを構築する必要がある。

○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。差異の吸収は主に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



技術研究組合
NMEMS 技術研究機構



国立研究開発法人
新エネルギー・産業技術総合開発機構

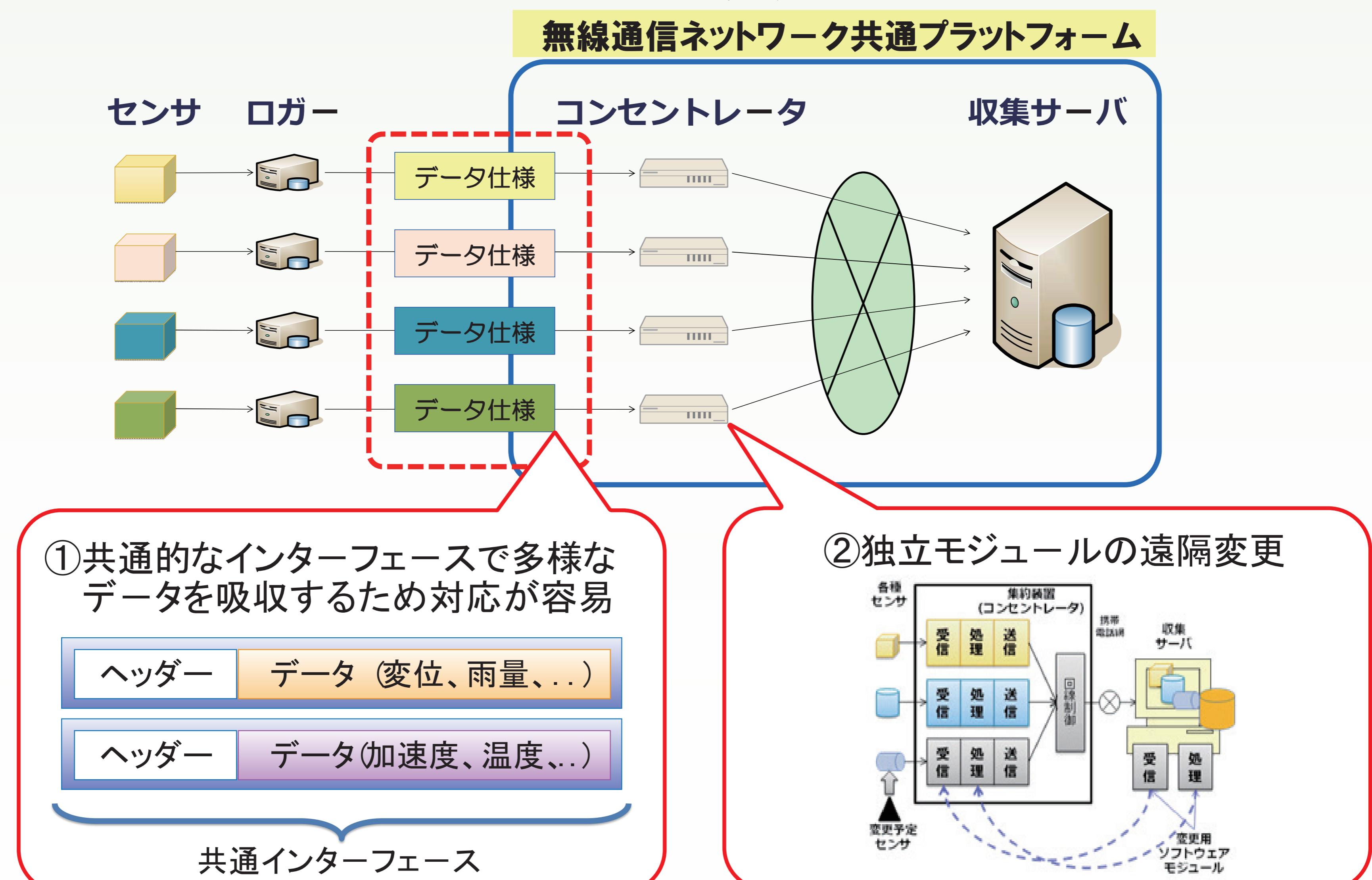
多種多様なセンサに対応するネットワーク通信基盤(2)

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

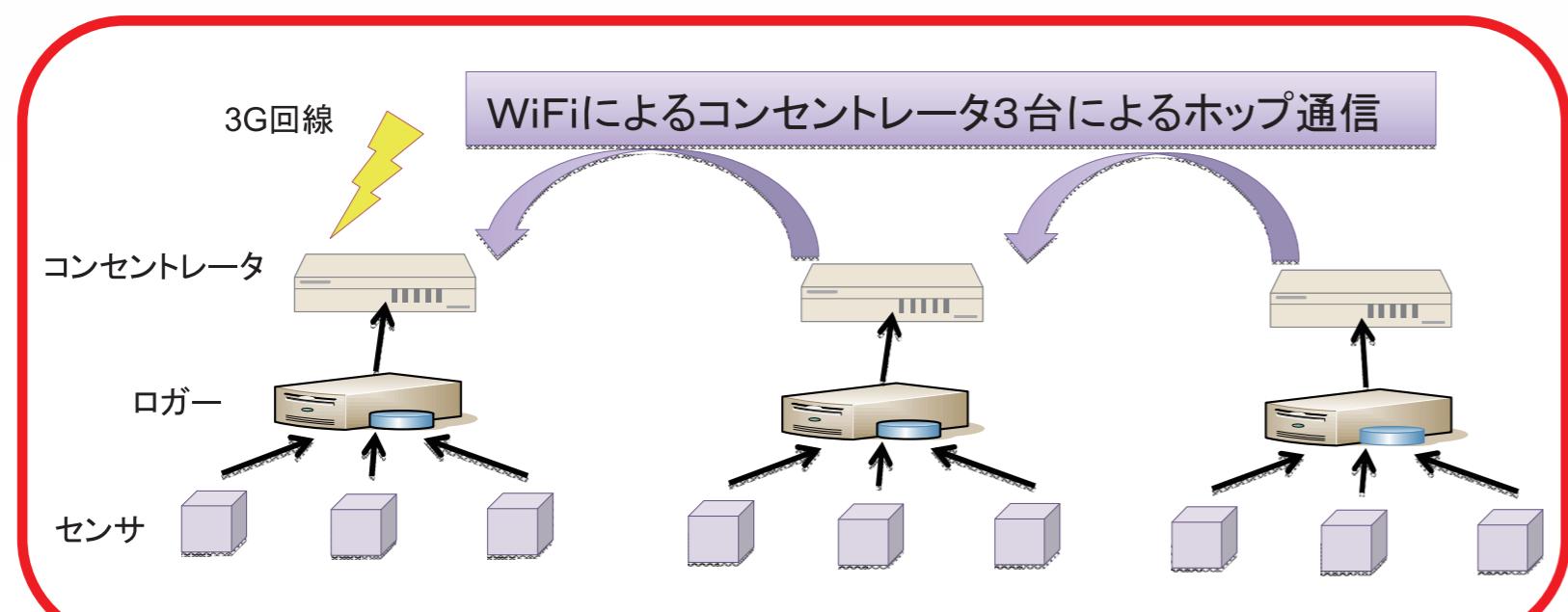
これまでの成果(H26年~)

○多種多様なセンサに対応するための通信仕様の開発

- ①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
連携試験により方式に問題ないことを検証済み
- ②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

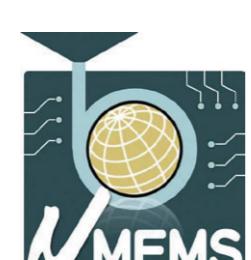
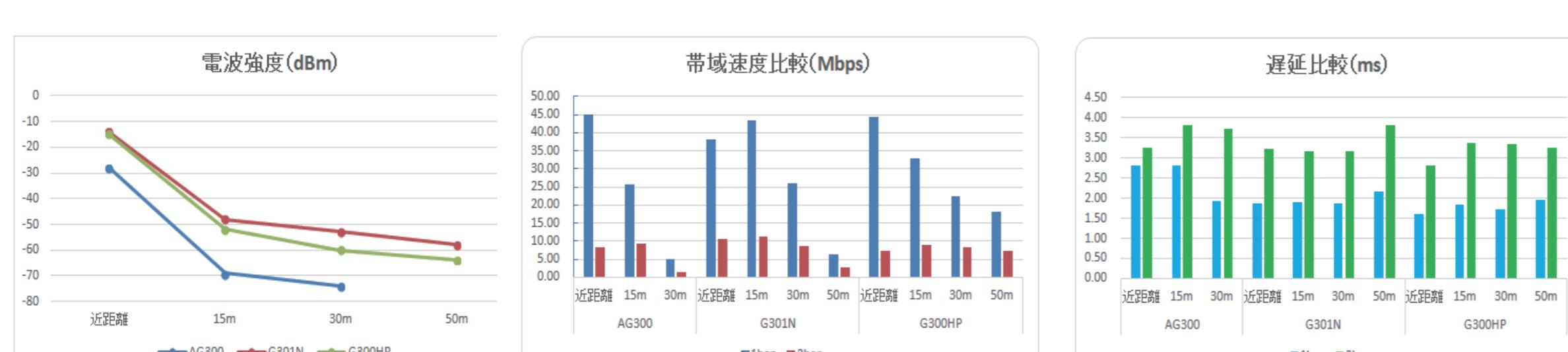


○コンセントレータ間の連携通信 3ホップまで連携通信を確認済み



○セキュアな情報収集

データは独自暗号化方式で通信、
内部モジュールの遠隔変更は
SSL 暗号方式で通信を実装済み
→平成28年度にセキュリティの
検証予定



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
- ◆パッケージを構造物に強固接着／接合する簡易施工シート実装技術

背景とねらい

●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

- NEEXCO、阪神高速等の事業者にとって、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比してシステムの寿命が著しく短い場合は適用困難(国交省;社会インフラのモニタリング技術活用推進検討委員会から抜粋)



- 道路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

●取り付け簡単施工性

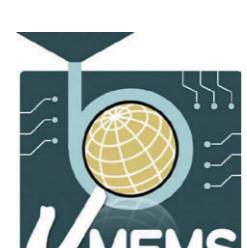
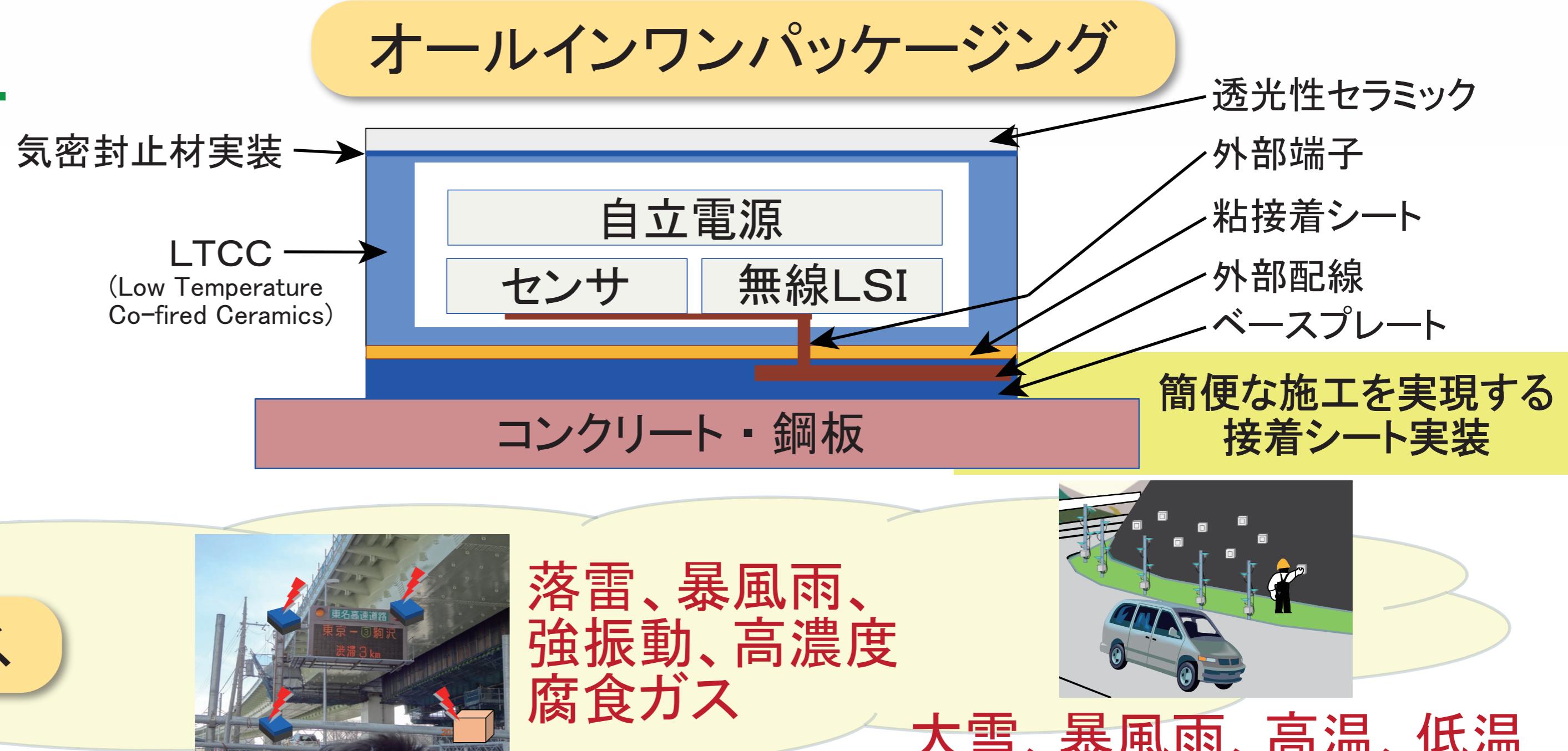
■事業者にとって、施工性と維持管理は重要

- 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貼り付け施工

概要図



技術研究組合
NMEMS 技術研究機構



国立研究開発法人
新エネルギー・産業技術総合開発機構

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(H26年~)

最終目標

パッケージサイズ ; 7cmx10cmx5cm

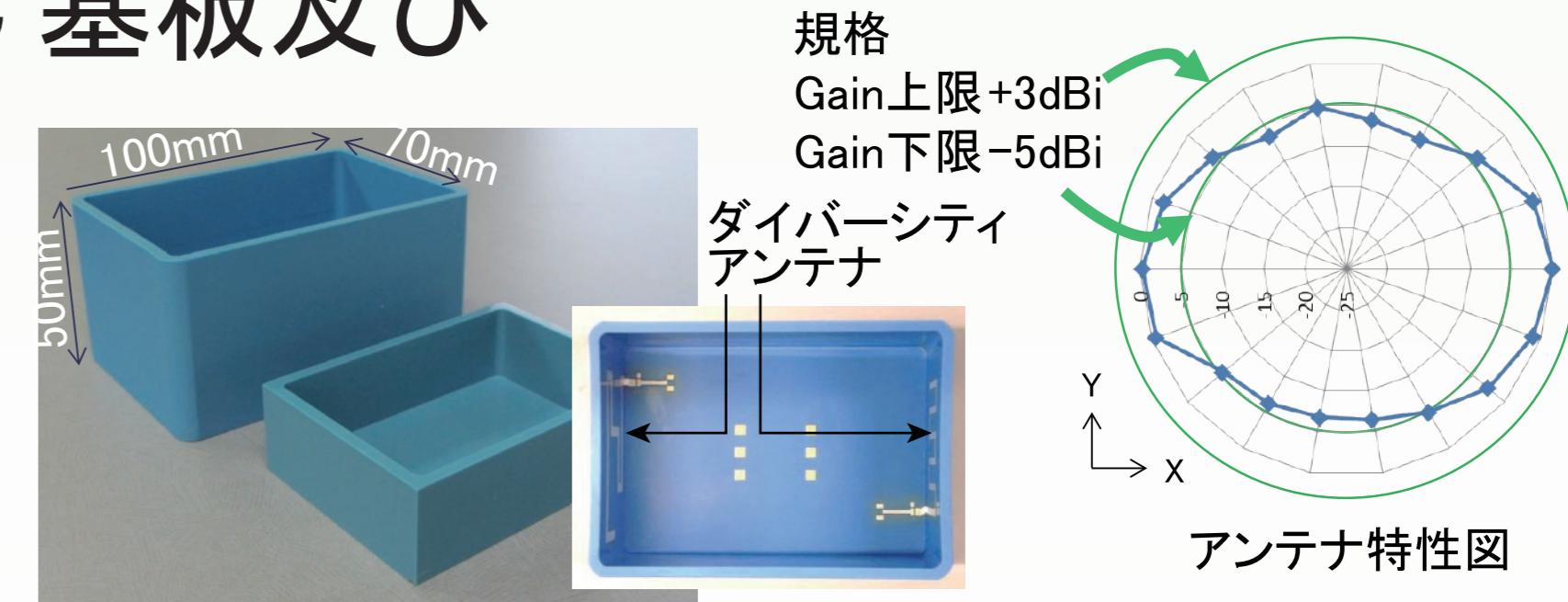
耐久性 ; 10年以上

開発内容及びこれまでの成果



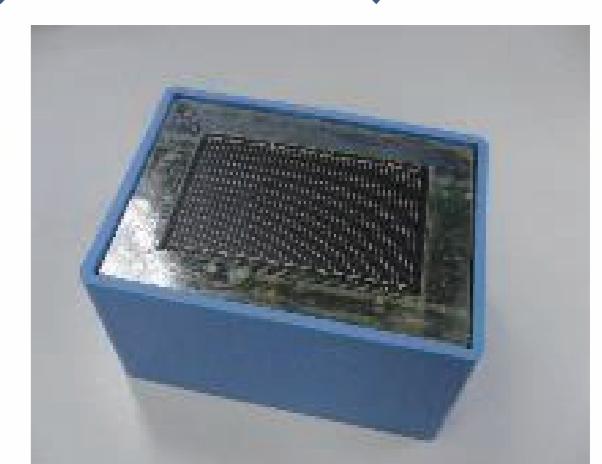
a) アンテナ形成できる大型サイズの LTCC 基板及び透光性セラミック基板開発 (日本ガイシ)

→ 7cmx10cmx5cmの大型サイズ、かつ低指向性ダイバーシティアンテナ付きのLTCCパッケージを完成した。



b) 低温接合できる封止材料を用いた高気密封止実装開発 (MMC)

→ 低温接合できる無機・有機複合接合材を開発し、パッケージ封止実装を完了した。
耐候性試験(500Hr)、PCT(Pressure Cooker Test) 規格達成。
熱サイクル試験(-40°C⇒85°C、200回)実施中。



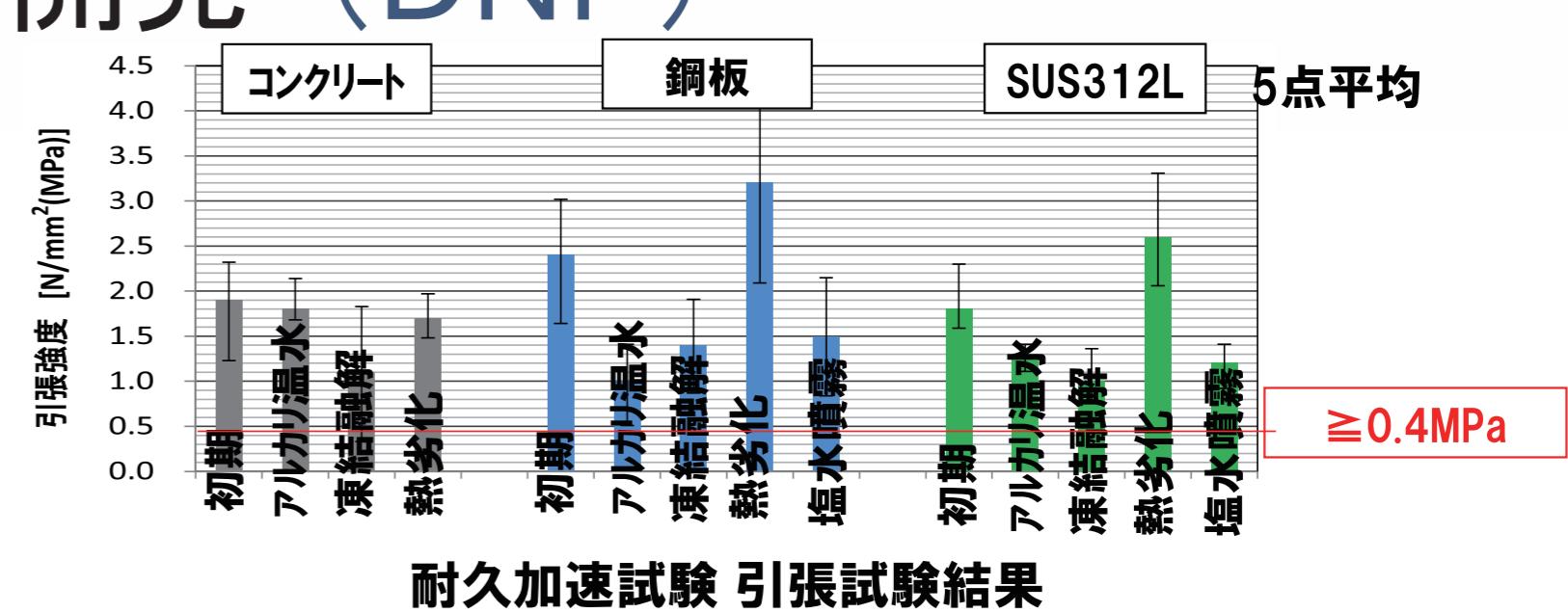
c) 簡単施工できるベースプレート実装構造及びプロセスの開発 (DNP)

→ ベースプレート(SUS312L)の構造を設計、試作した。



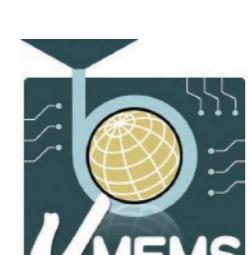
d) エポキシ系粘接着シートによる粘着接合開発 (DNP)

→ 10年相当の耐久加速試験としてJISA5557
耐久加速試験条件1.5倍を完了した。コンクリート、
鋼板、SUS312LにおいてLTCCとの引張強度
0.4MPa以上であることを確認した。



e) リモート耐久性加速試験法開発 (MMC、産総研)

→ リモートで信頼性データを観察評価できる完全自立型
耐久性加速試験法を開発できた。
自然暴露(実証)試験を阪神高速橋梁下、NEXCO
西日本西安堵橋橋梁下で実施した。



技術研究組合
NMEMS 技術研究機構



国立研究開発法人
新エネルギー・産業技術総合開発機構

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	路下からの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)
		

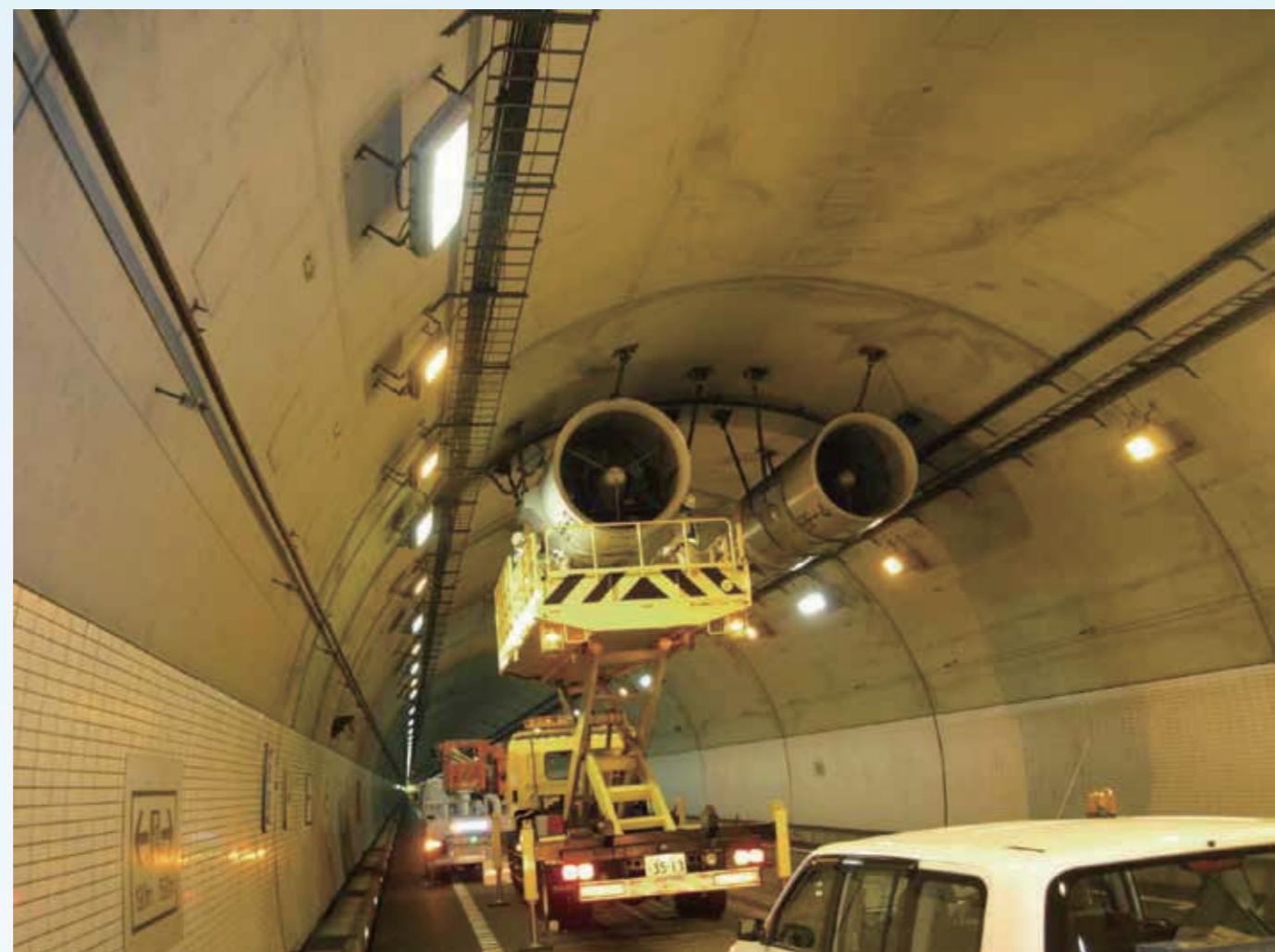
変状事例



高速道路の附帯設備点検

Inspection of Expressway Equipment

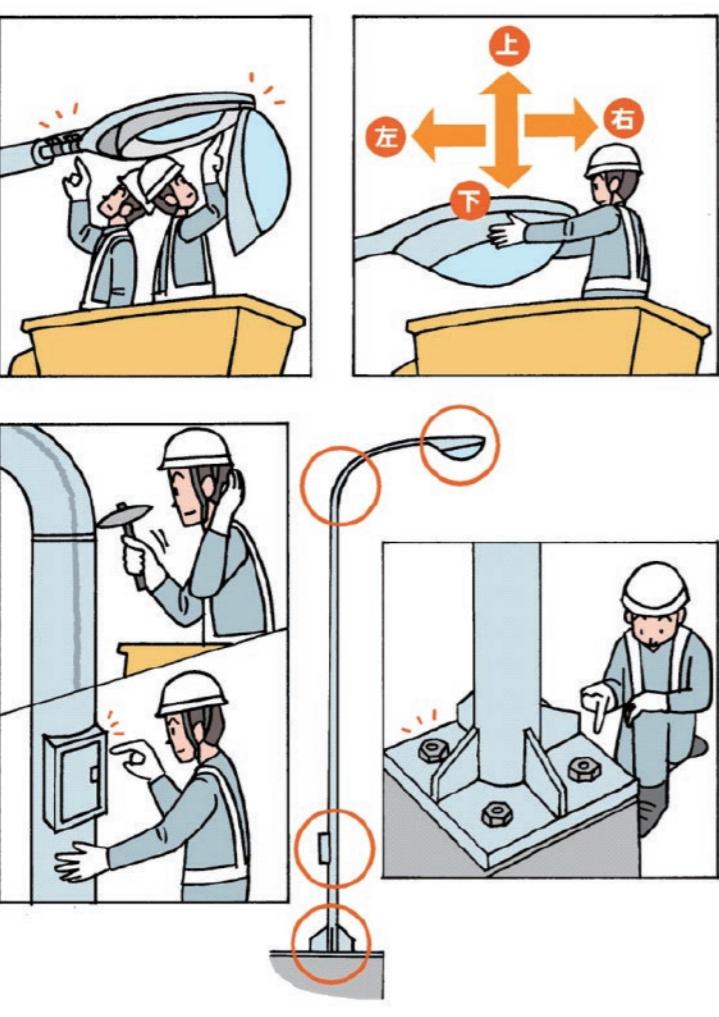
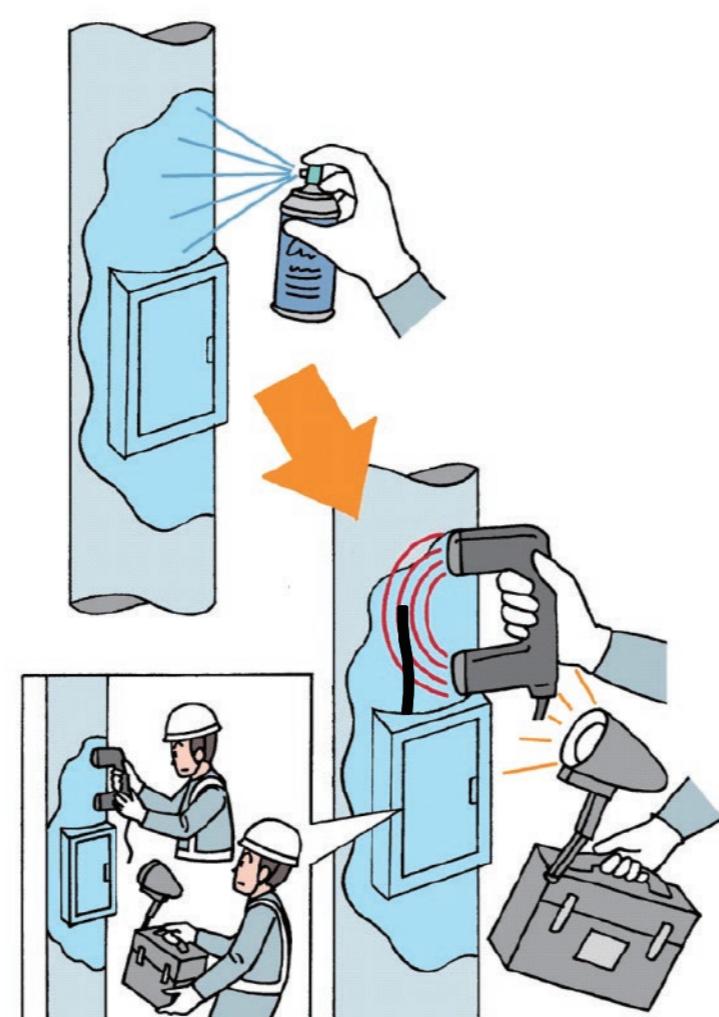
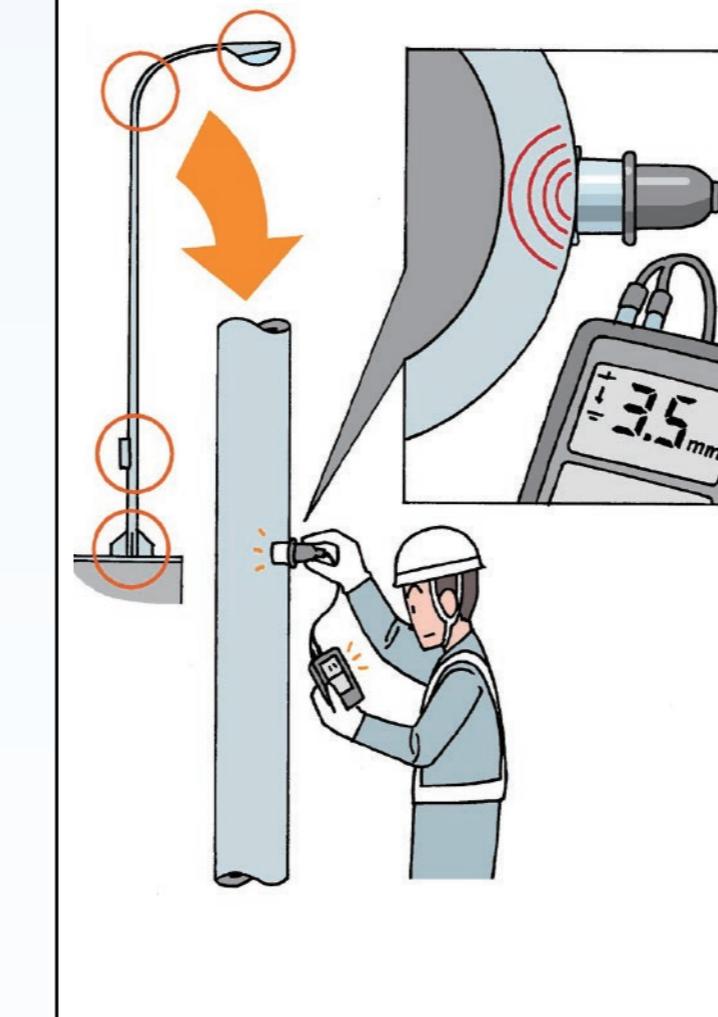
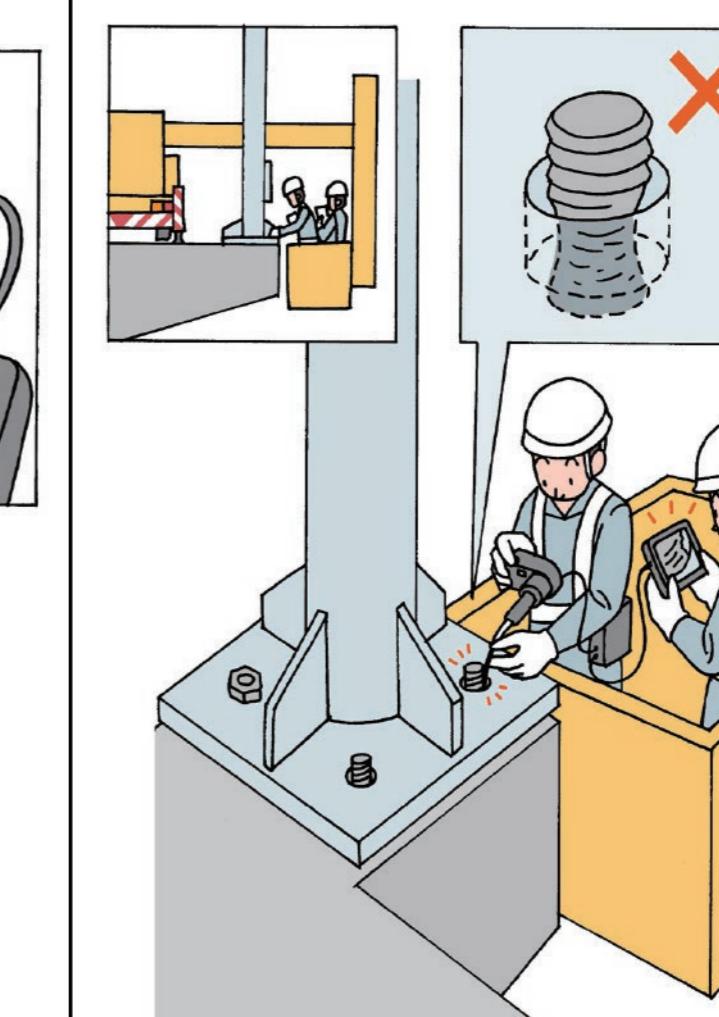
点検の現状



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～

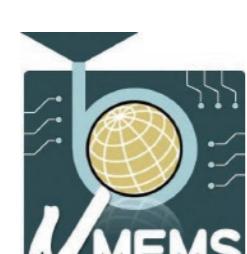
劣化事例



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



技術研究組合
NMEMS 技術研究機構



国立研究開発法人
新エネルギー・産業技術総合開発機構

高速道路ののり面点検

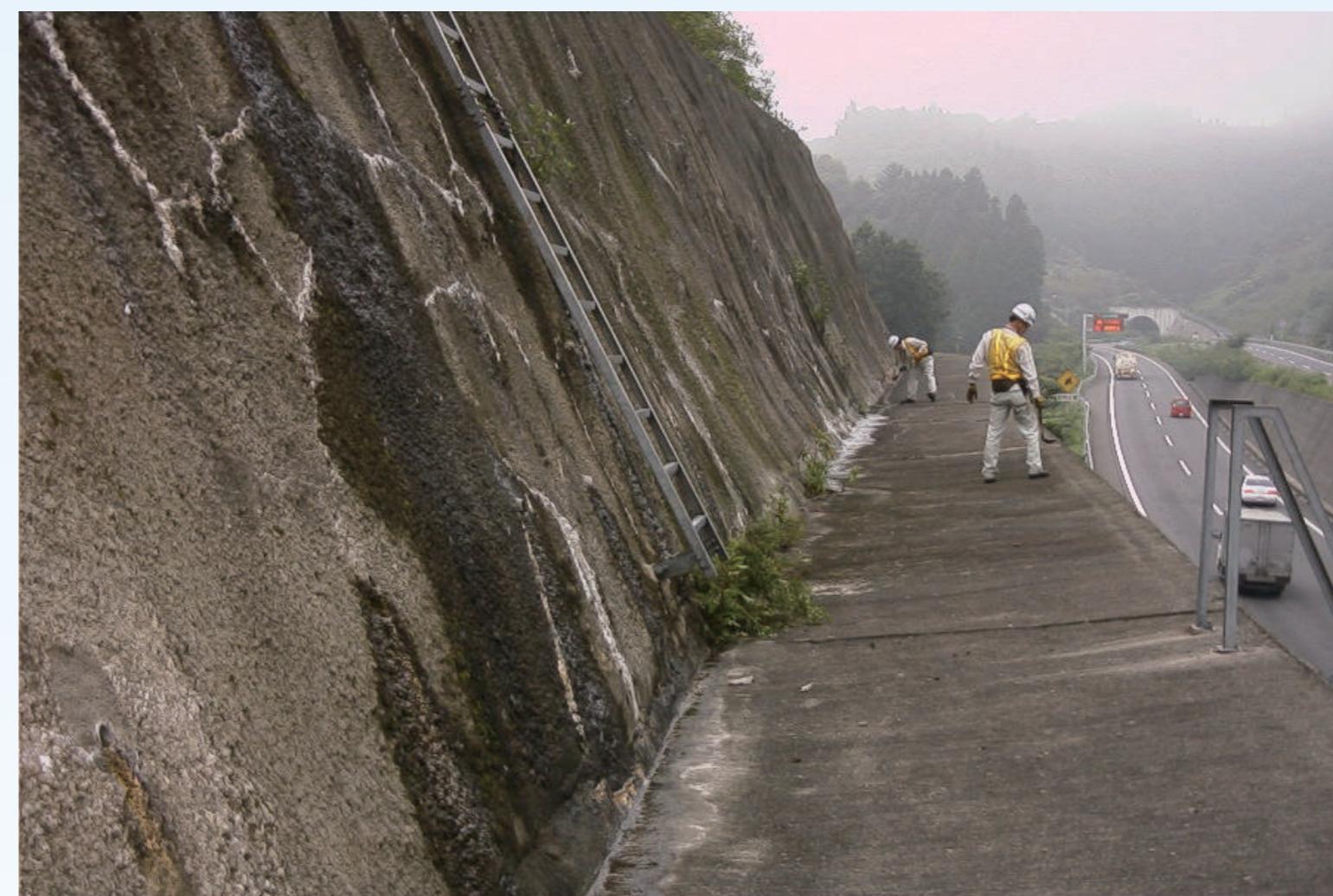
Slope Inspection of the Expressway

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



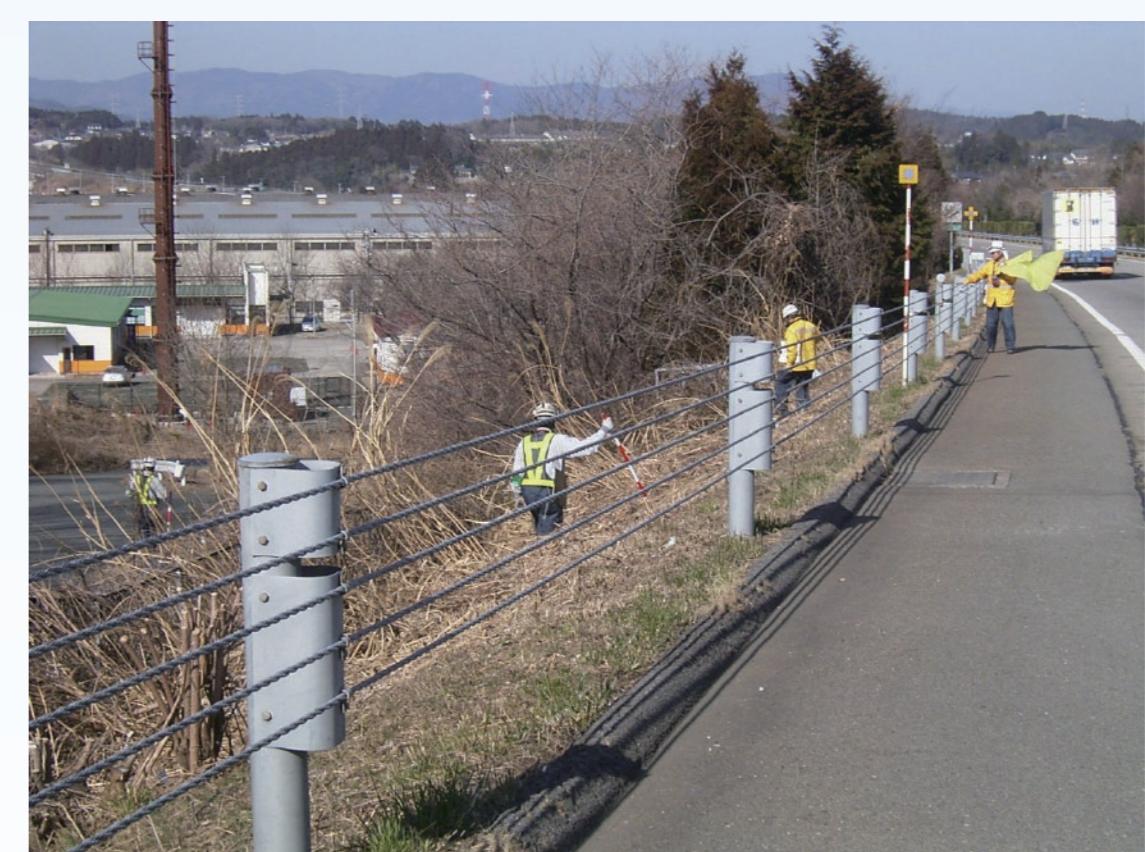
切土のり面の点検



のり面勾配の調査



盛土のり面の目視点検



変状事例

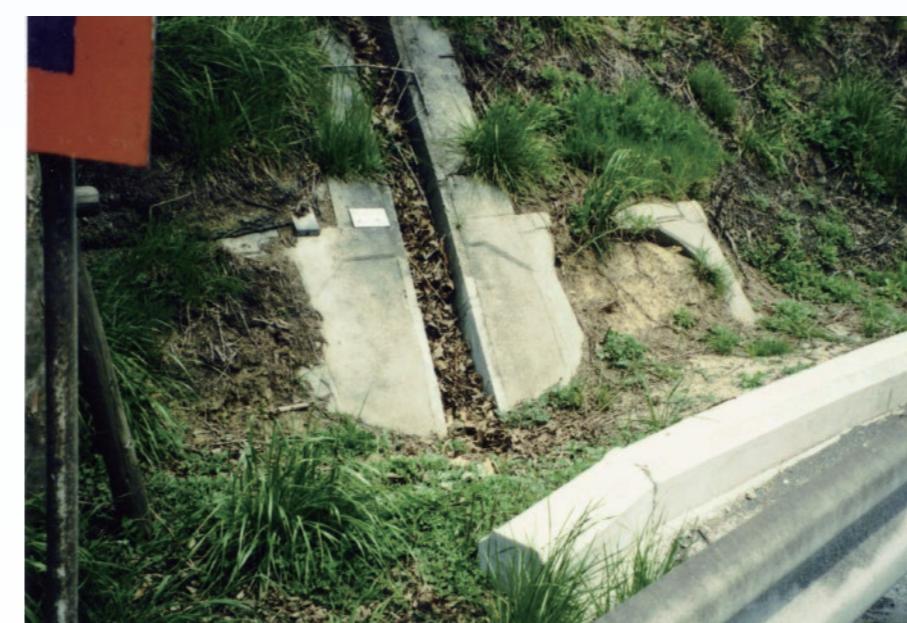
切土のり面の倒木



のり尻部からの湧水



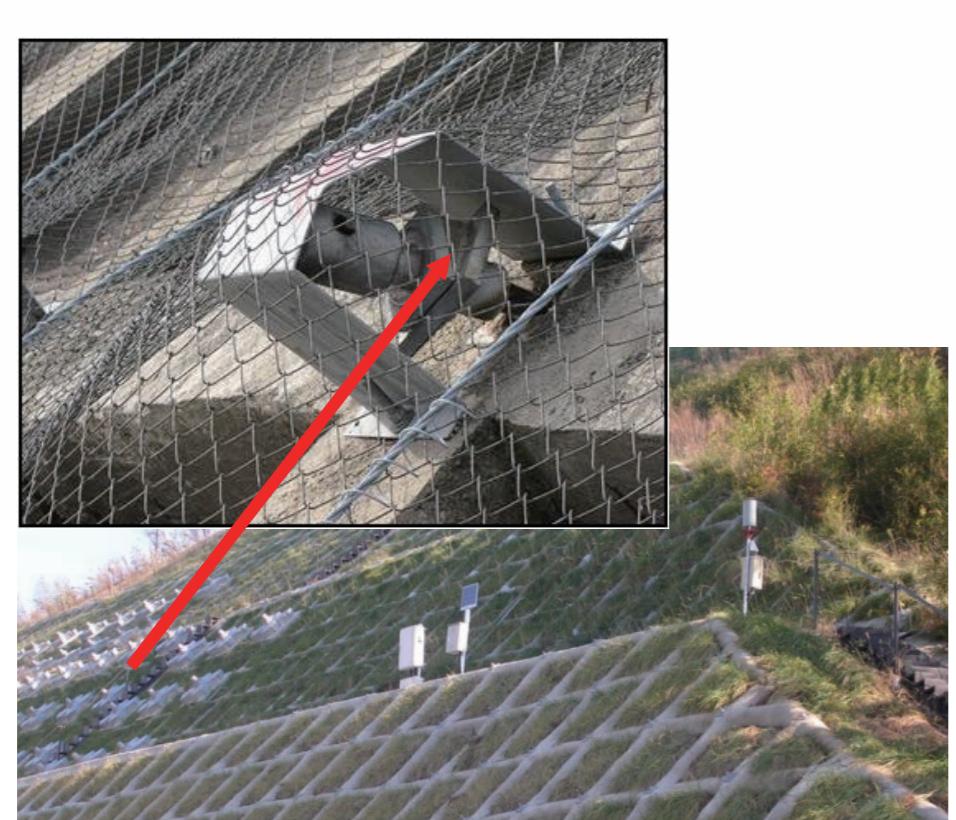
排水溝に土砂等が堆積



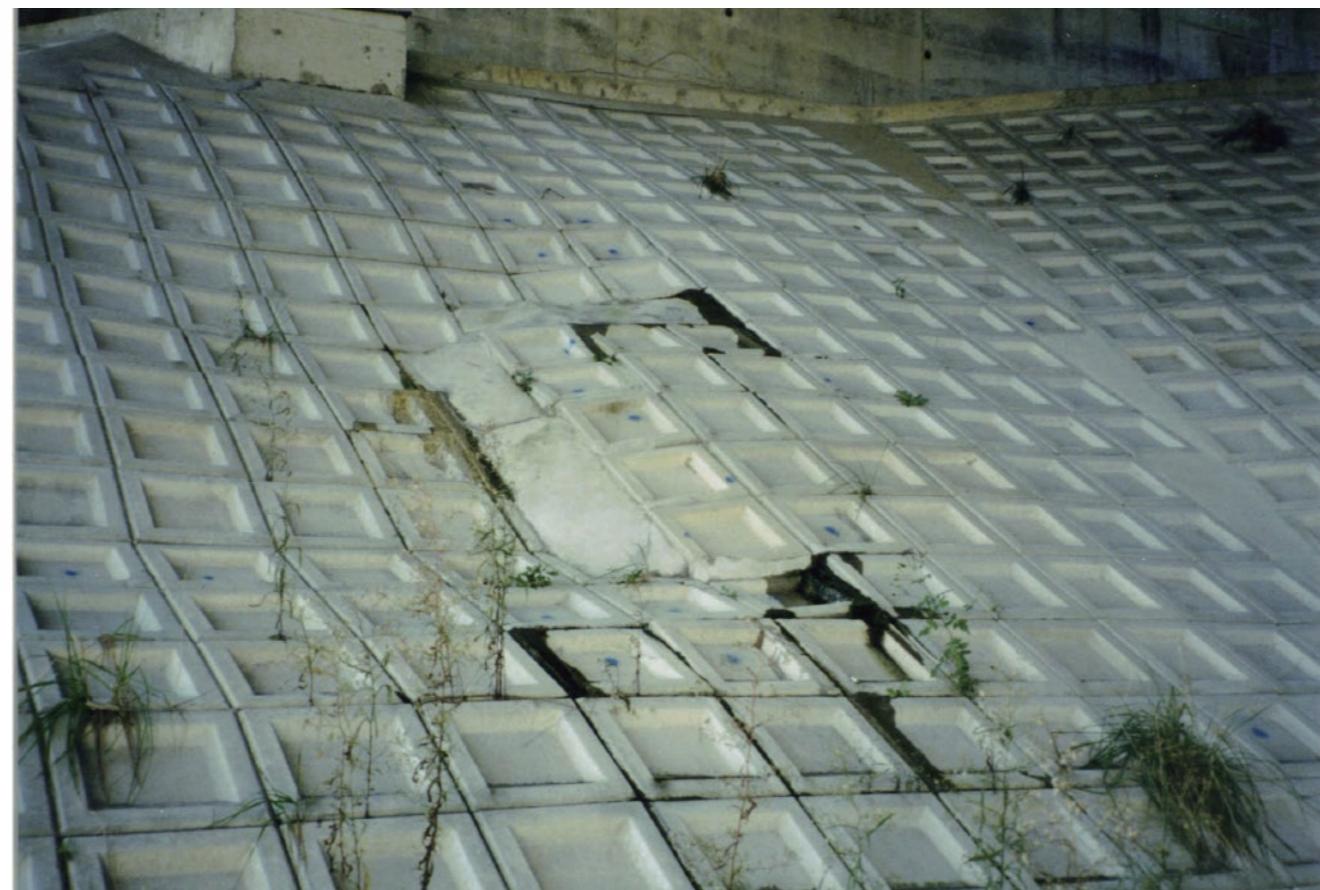
コンクリートブロック積
のひび割れ、ずれ



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



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

- ◆モニタリングシステムの時刻同期を不要とし、設置・運用労力を革新的に低減
- ◆センサ端末に組込可能な小型で低消費電力な原子時計
- ◆高い時刻精度の長期間維持を可能とするガスセル内環境維持・計測技術

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。各データに付与するタイムスタンプの精度は、センサ端末などに組込んだタイミングデバイスの時刻同期精度で決まり、設置環境や天候などで変化する電波状況に依存する

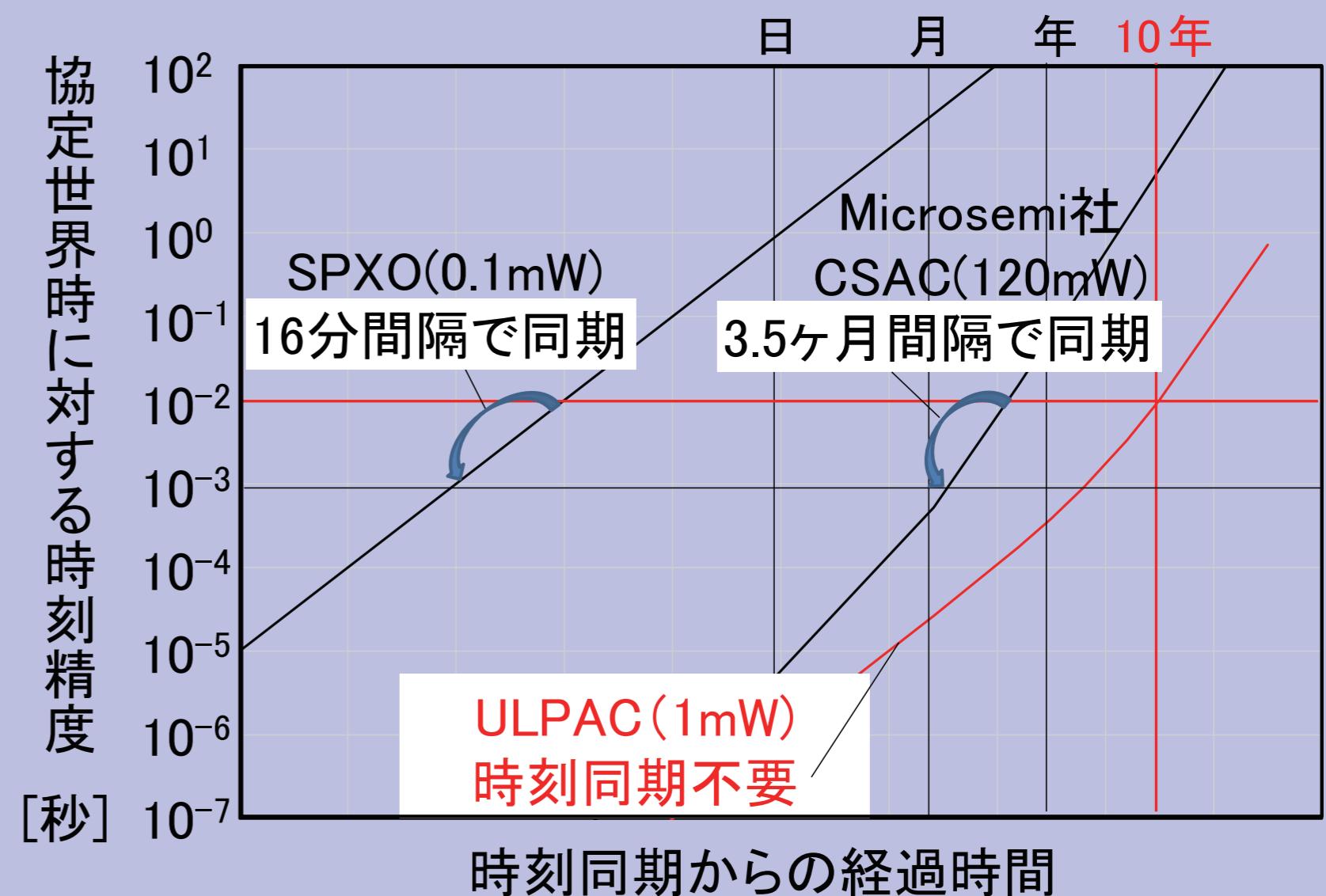
→ 設置場所や天候などを考慮したシステム設計にノウハウが必要

■セキュリティでの課題

公衆回線を介した時刻同期経路がセキュリティホールとなる可能性がある

→ 独立したタイムサーバが必要

SPXOなどに換わり、高精度な原子時計(ULPAC)をセンサ端末に組込むことで、モニタリングシステムの時刻同期を不要とし、設置・運用の労力を革新的に低減



SPXO : Simple Packaged Crystal Oscillator
CSAC : Chip Scale Atomic Clock
ULPAC : Ultra – Low Power Atomic Clock

概要図

■ガスセル内環境維持技術

- ・ガスセル内高純度化（焼だし+高純度ガス）
- ・ガス透過率低減（ガス種+ガスセル材料）

■デュアルガス計測による周波数補正技術

- ・Cs/Rb の CPT 共鳴同時検出で推定するガスセル内環境変化を基にした発振周波数補正

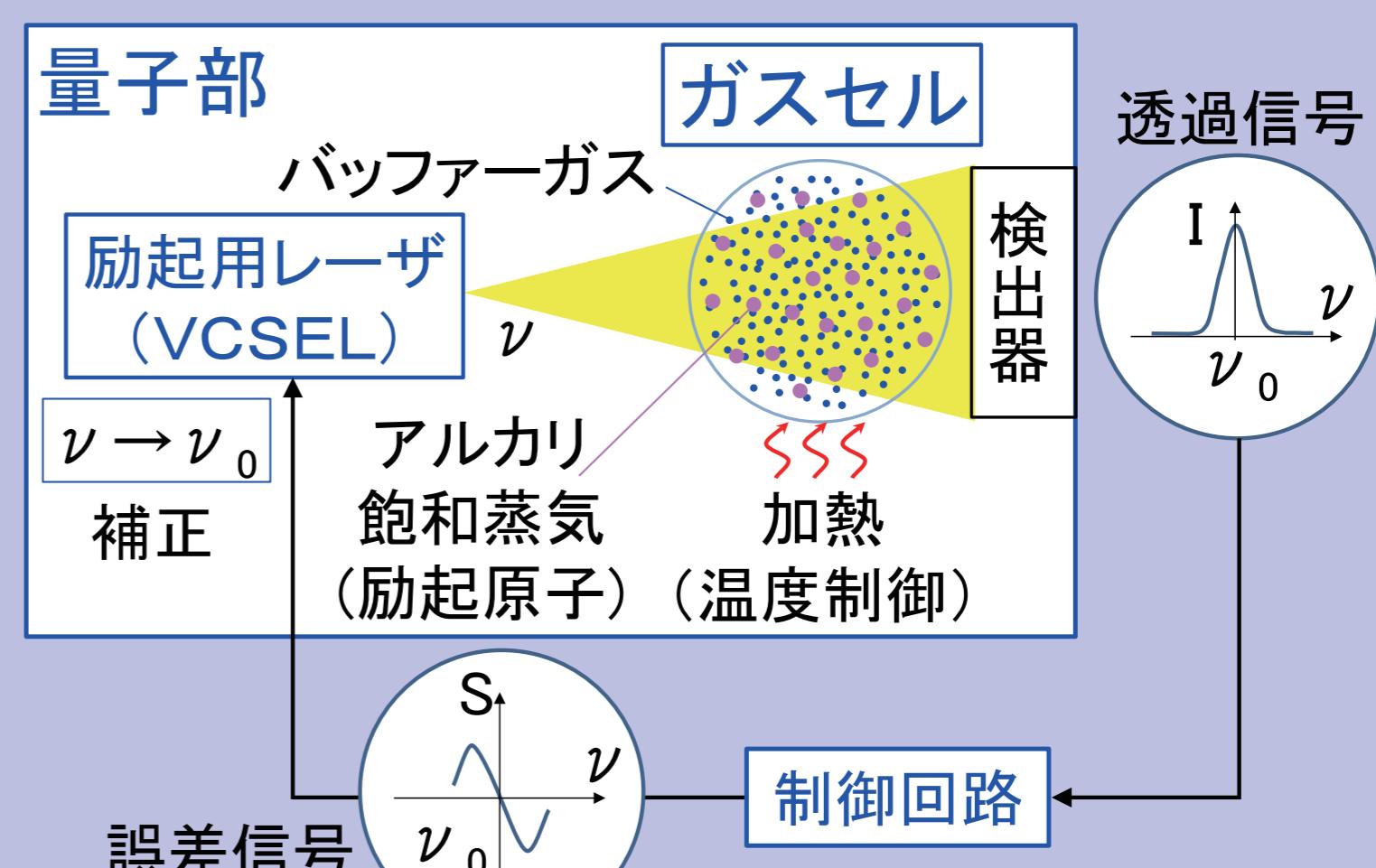
■小型ガスセル真空断熱保持技術

- ・量子部真空密+低熱伝導ガスセル保持+低熱輻射ガスセル+量子部高熱反射壁

■制御回路の低消費電力技術

- ・低消費電力と低位相雑音を両立した CMOS 集積化 PLL 回路

CPT : Coherent Population Trapping, PLL : Phase Locked Loop



アルカリ原子固有の励起周波数を利用して、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)

VCSEL : Vertical Cavity Surface Emitting Laser



技術研究組合
NMEMS 技術研究機構



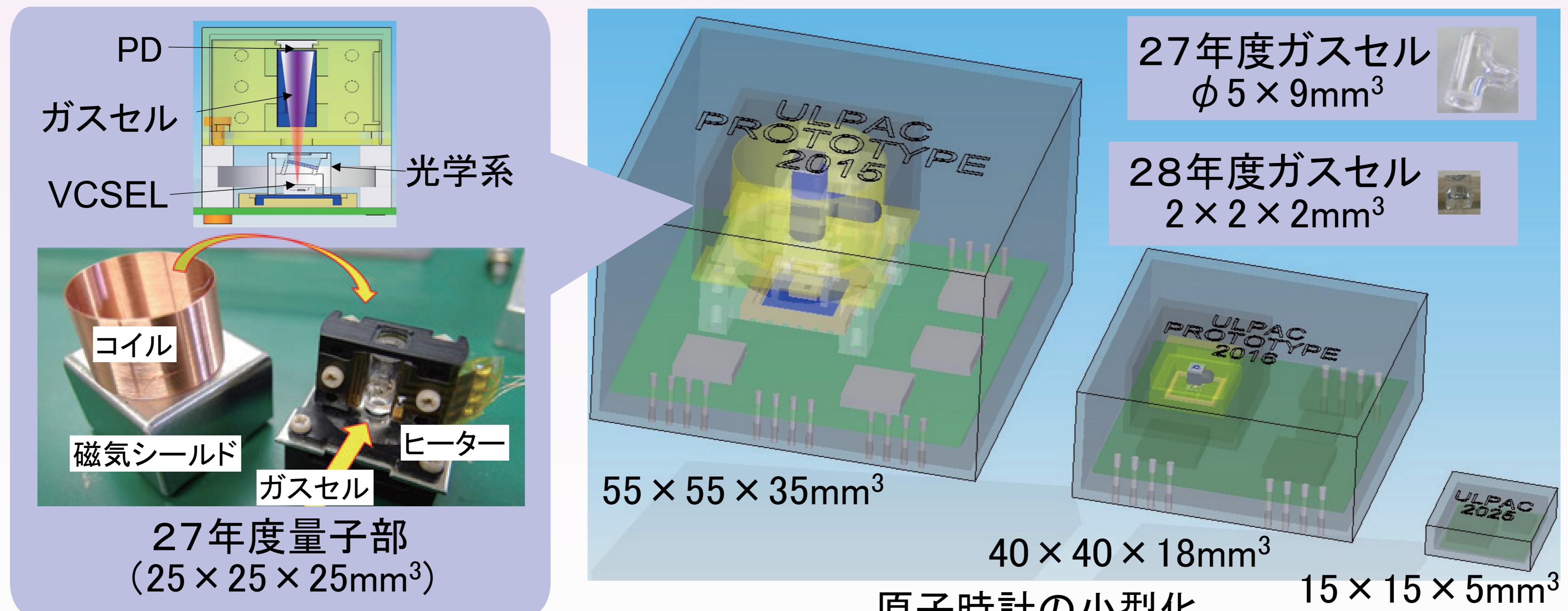
国立研究開発法人
新エネルギー・産業技術総合開発機構

モニタリングシステムを革新する原子時計（2）

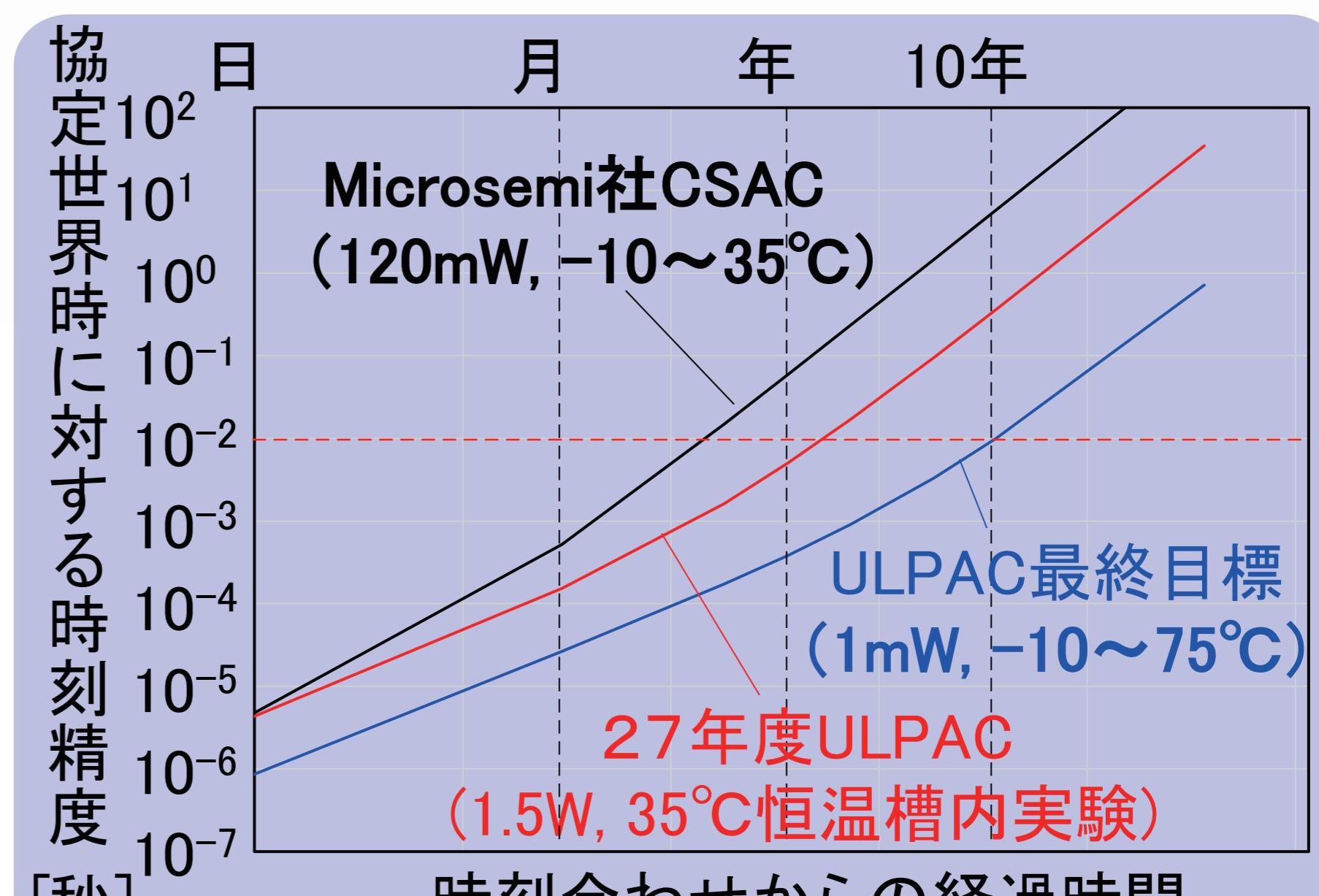
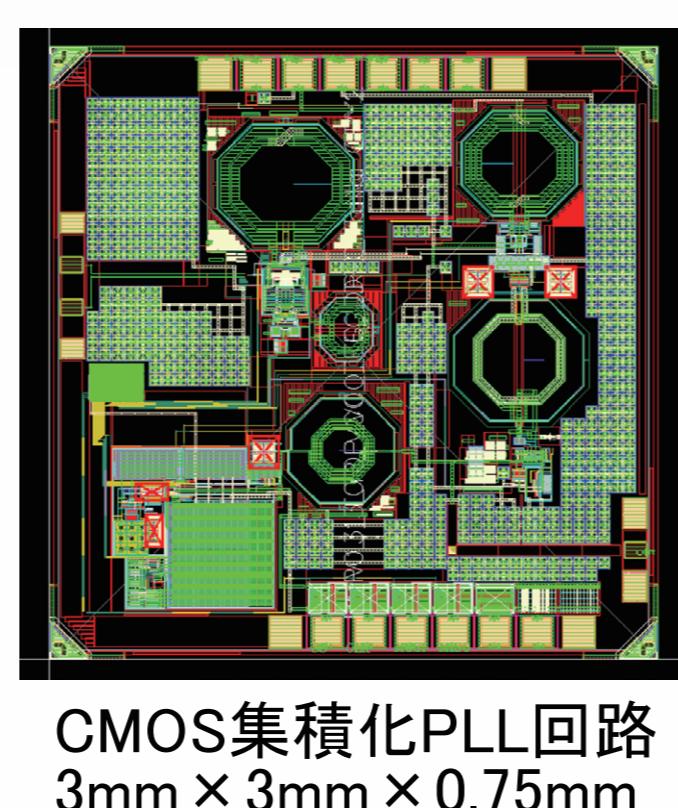
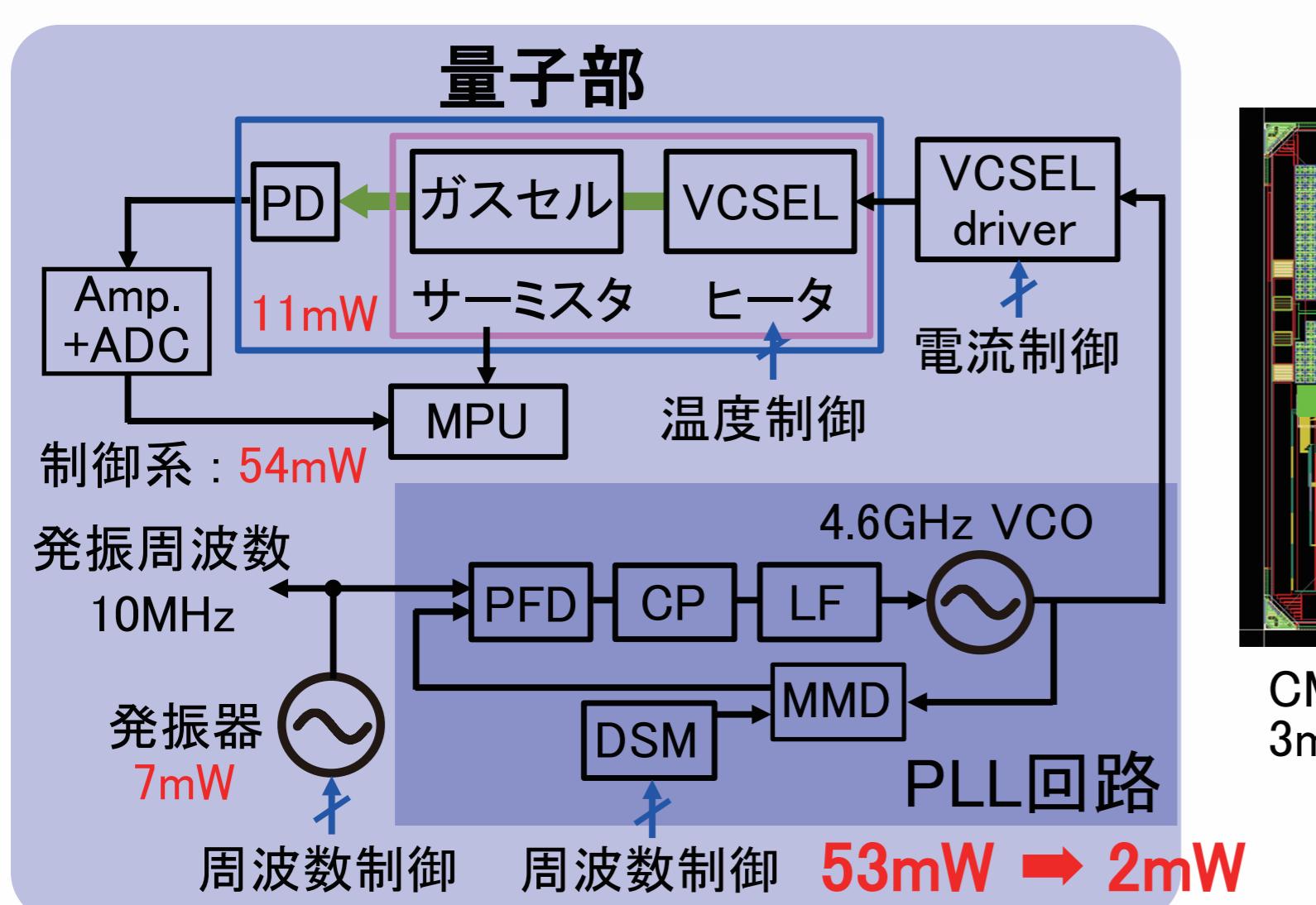
Atomic Clock Leading to Innovation of Monitoring System (2)

これまでの成果(H27年～)

- 小型・高純度ガスセルとCMOS集積化PLL回路で、原子時計を小型・低消費電力・長期安定化



- 低消費電力と低位相雑音を両立した CMOS 集積化 PLL 回路



27年度ULPAC(ガスセル)の時刻精度

- デュアルガスセルによる Cs と Rb の CPT 共鳴の同時計測

CsとRbのCPT共鳴を同時計測し、その周波数差から共鳴周波数の変動量を推定。基準周波数の補正精度を検証実験中

